ПАМЯТИ МОЕГО ОТЦА

Эта книга по физике, популярная книга для всех, была мечтой моего отца во все последние годы его жизни: он умер с мыслью о ней...

ВЕРА НИКОЛАЕВНА ДРЕНТЕЛЬН

Предисловие редактора.

«Физика для всех» написана Н. С. Дрентельном в период 1917—18 годов. Эта книга была его мечтою во все последние годы жизни. Весь свой большой опыт педагога-физика, все свои богатые знания науки и жизни, всю свою практическую умелость Н. С. Дрентельн сконцентрировал в этом труде, ставящем своею целью ознакомление самых широких кругов читателей с главнейшими положениями физики и ее важнейшими применениями в повседневной жизни и технике. Книга содержит первоначальные сведения из физики, необходимые каждому для понимания великих явлений природы и способов технического использования ее энергии.

«Физика для всех» мало похожа на обычные учебники физики, но это и не книга для чтения. Ее надо внимательно и детально изучать, следя за последовательно развивающейся мыслью автора. Здесь все тесно спаяно между собою, все направлено к одному: выявить те общие принципы, на которых покоится здание науки, сделать ясными основные процессы, направляющие жизнь природы. При изложении фактов автор везде, где это возможно, исходит из сведений, которыми более или менее обладает каждый, главным образом, из житейского опыта или для приобретения которых достаточно простого внимания к окружающему. На-ряду с этим видное место занимают опыты, всегда простые, но вместе с тем убедительные. Обычный спутник физики—математика—отсутствует (если не считать простейших арифметических расчетов и некоторых примеров из геометрии на плоскости). Несмотря на это, мы в книге Н. С. находим не

только фактический материал, искусно подобранный и ярко представленный, но и научные обобщения и притом часто с глубоким философским суждением. Автор умело подводит читателя к самым высоким достижениям науки, он проводит его в самые сокровенные места. Не забывает автор всегда подчеркнуть тесную живую связь науки с практикой. Общей стройности отвечают имеющиеся в конце почти всех глав обзоры. Ценны также вопросы и числовые примеры, приведенные в некоторых местах книги.

«Физика для всех» интересна и нужна читателю, не проходящему школы; полезна для изучающего физику в школе по «строгой системе»; важна педагогу, как замечательный образец методической разработки материала. Глубокая вера в науку, энтузиазм автора способны воодушевить каждого.

При редактировании рукописи «Физики для всех» мною прежде всего проведено незаконченное Н. С. Дрентельном распределение материала по главам, разделам и параграфам; далее добавлены обзоры к тем главам, где их не было; сделаны необходимые перестановки, дополнения и изменения в тексте; исправлены некоторые места в соответствии с новейшими данными. Везде, где это представлялось возможным без нарушения наглядности представлений, русские меры заменены метрическими или отодвинуты на второе место. При всех изменениях и дополнениях я руководствовался набросками и заметками Н. С., стремясь не отступать от тех начал, которыми проникнута «Физика для всех», равно как и остальные труды Н. С. Дрентельна. В соответствии с указаниями Н. С. подобраны и все рисунки как из его прежних книг, так и новые. Для удобства пользования книгой приложен предметный указатель.

П. Знаменский.

Н. С. Дрентельн.

Николай Сергеевич Дрентельн родился в 1855 году в Иркутске. Раннее детство провел в Рязанской губернии, а с 10 лет после смерти отца жил в Петрограде. Здесь он окончил в 1874 году Первое Реальное Училище (в то время Седьмая Реальная Гимназия), где впервые встретился с молодым педагогом К. В. Дубровским, преподававшим недолгое время физику в гимназии.

В продолжение трех лет Н. С. состоял студентом Технологического и Горного Институтов, которых, однако, не закончил. Годы студенчества и последующие (до конца 80-х годов) в жизни Н. С. Дрентельна должны быть отмечены, как годы исканий и самоопределения. В этот период Н. С. усиленно занимался самообразованием, работал по физике и химии в лабораториях Медико-Хирургической Академии у профессоров Усова и Бородина, а на-ряду с этим серьезно изучая философию. Привлекали внимание Н. С. в то время и общественные вопросы. Все эти годы Н. С. вращался в кругу выдающихся людей того времени: известного педагога Герда, химиков Бутлерова и Гольдштейна, писателей Гаршина и Успенского. К этому же времени относится начало работ Н. С. в Педагогическом Музее в Соляном Городке. В течение 1888—1892 г. г. Н. С. жил в Германии, где проходил высшую научную школу, слушая лекции и занимаясь в лабораториях у профессоров Видемана, Вундта, Кольрауша и Оствальда.

По возвращении в 1892 году в Петроград Н. С. целиком отдался педагогической работе. В продолжение 22 лет (1892—1914) он состоял преподавателем физики в Земской Учительской

школе. Этой школе по преимуществу уделял Н. С. все свое внимание и время; здесь получил он ту закалку, которая определила в дальнейшем все направление его творческой деятельности, как педагога-физика. В этот же период Н. С. преподавал физику и химию в Кадетском Корпусе (1894 — 1907) и Сиротском Институте (1899 — 1912), а также в женских гимназиях Стоюниной и Таганцевой, в реальном училище Гуревича и в вечерних классах при Путиловском заводе. В последние годы свою работу Н. С. перенес на краткосрочные учительские курсы в Петрограде и его окрестностях.

Педагогическая работа в стенах учебных заведений составляла только одну сторону деятельности Н. С. Дрентельна. Начиная с 70-х годов и до конца жизни, на протяжении свыше 40 лет, тянется работа Н. С. в Педагогическом Музее в Соляном Городке. Вместе с Я. И. Ковальским, К. В. Дубровским, В. Л. Розенбергом, Б. Ю. Кольбе и М. Ю. Гольдштейном Н. С. Дрентельн разрабатывает новые методы преподавания физики и химии, создает новые типы простых приборов и со всей энергией и настойчивостью ведет пропаганду замены отвлеченного преподавания физики преподаванием физики опытной. Собрания учителей физики и химии в Соляном Городке, на которых Н. С. являлся одним из самых деятельных участников и постоянным докладчиком, составляют блестящую страницу в истории преподавания физики в России.

Первый литературный труд Н. С. — «Начальный учебник химии», составленный им в 1886 году. В период 1887—1896 г. г. Н. С. переводит и издает целый ряд книг по физике, химии и астрономии: Ремсена, Тэта, Вебера, Оствальда, Герца, Мейера, Аррениуса, Кольрауша, Ньюкомба и Энгельмана, Эпштейна и др. (16 книг).

Начиная с 1908 года появляются оригинальные труды Н. С.— плод его долголетней творческой работы. Из них прежде всего должна быть отмечена «Физика в общедоступном изложении» — целая энциклопедия в области физических знаний. Рядом с нею стоит вторая книга «Физические опыты в начальной школе», содержащая богатый и прекрасно разработанный материал по производству элементарных опытов по преимуществу на самодельных приборах. Третья книга, дополняющая две первых, «Пособие для практических работ по физике в средней школе». Две книги: «Указатель лучших общедоступных книг по физике и физическим знаниям с руководящими характеристиками» и «В дебрях нашей научно-популярной литературы» — результат глубокого знания литературы и долголетнего опыта по рецензированию книг. Две брошюры: «Простые физические опыты и приборы» и «Воздух — вода — тепло» содержат часть материала, изложенного в «Физических опытах в начальной школе».

Много писал Н. С. в журналах: «Педагогическом Сборнике военно-учебных заведений», «Русской Мысли», «Русской Школе», «Педагогической Мысли», «Народном Образовании», «Летописи средней школы» и др. Здесь можно найти очерки по истории физики, статьи, посвященные известным педагогам, изложение физических явлений применительно к обиходной обстановке, описание приборов и опытов, наконец, рецензии о книгах.

Последние два года Н. С. посвятил книге, которую он считал завершением всей своей работы, — «Физике для всех».

Скончался Н. С. Дрентельн в начале 1919 года, оставив богатое и ценное наследство русской школе, русским педагогам и учащимся.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

СТРАН.

Предисловие редактора . 5
Н. С. Дрентельн . 7

Глава первая.

О природе и о том, чему учит нас физика.

I. Физические тела. Явления природы и зависимость между ними. Наблюдение и опыт (§§ 1—3) 21

Глава вторая.

О нашей земле в безграничном небесном пространстве.

I. Земной шар. Миры «земной» и «небесный» (§§ 4—5) 26
II. Почему тела падают на землю? (§ 6) 28
III. Отвесное и горизонтальное направления (§§ 7—9) 29
IV. Как определить угол между отвесами двух мест по их географической широте или долготе? (§ 10) 32
V. Отчего на земле не везде одинаковое время? (§ 11) 33
VI. О метрической системе линейных мер (§§ 12—13) 35
VII. Как найдены размеры земного шара? (§ 14) 36
VIII. Обзор и добавления (§§ 15—16) 37

Глава третья.

Воздух, нас окружающий.

I. Воздух сжимаем и упруг (§§ 17—20) 38
II. О весе воздуха (§§ 21—23) 41
III. Окружающий нас воздух сильно сжат и стремится неограниченно расширяться (§§ 24—26) 42
IV. Еще о воздухе (§ 27) 46
V. Обзор (§ 28) . 47

Глава четвертая.

О физических телах вообще: твердые и жидкие тела.

		Стран.
I.	Твердые тела (§§ 29—33)	47
II.	Жидкие тела (§§ 34—35)	52
III.	Обзор (§ 36)	54

Глава пятая.

Об измерении длины и объема.

I.	Измерение длин. Определение объемов (§§ 37—38)	54
II.	Единицы длины, поверхности и объемные (§ 39)	57
III.	Обзор и добавления (§§ 40—41)	58

Глава шестая.

Воздухообразные или газообразные тела.

I.	Углекислый газ (§§ 42—45)	60
II.	Водород (§ 46)	63
III.	Кислород (§§ 47—48)	64
IV.	Водяной пар (§ 49)	66
V.	Пахучие и цветные газы и пары (§ 50)	67
VI.	О частичном или молекулярном строении вещества (§§ 51—53)	68
VII.	Обзор и добавления (§ 54)	70

Глава седьмая.

О тяжести тел.

I.	Как тела взвешиваются (§§ 55—57)	72
II.	Весы с коромыслом (рычажные весы) (§§ 58—61)	74
III.	Как узнать вес тела (вычислением), не кладя его на весы (§ 62)	78
IV.	Сравнить вес какого-нибудь материала и воды в одинаковом объеме (§§ 63—67)	79
V.	Об измерении сил весовыми единицами (§ 68)	84
VI.	Обзор и добавления (§§ 69—72)	85

Глава восьмая.

Некоторые особенности явлений тяжести жидкостей.

I.	Жидкость давит во все стороны (§§ 73—75)	88
II.	Жидкость в сообщающихся сосудах (§ 76)	91
III.	Как вычисляется давление жидкости на данной глубине (§§ 77—78)	93
IV.	Обзор (§ 79)	94

Глава девятая.

Атмосферное давление.

		Стран.
I.	Несколько простых опытов (§ 80)	94
II.	Насосы водяной и воздушный (§§ 81—84)	97
III.	Как велико атмосферное давление (§§ 85—87)	100
IV.	На какую высоту можно поднять жидкость атмосферным давлением (§§ 88—89)	104
V.	Барометры и манометры (§§ 90—93)	106
VI.	Обзор и добавления (§ 94)	112

Глава десятая.

Закон Архимеда.

I.	Плавание и всплывание в жидкостях (§§ 95—101)	114
II.	Плавание и всплывание в воздухе и газах (§§ 102—104)	122
III.	Общий закон рассмотренных явлений (закон Архимеда) (§§ 105—107)	125
IV.	Обзор и добавления (§ 108)	128

Глава одиннадцатая.

О движении вообще и о движении тел под действием силы тяжести.

I.	О движении и сопротивлениях движению (§§ 109—111)	129
II.	Закон инерции (§ 112)	132
III.	Движение падающих и брошенных тел (§§ 113—117)	133
IV.	О качаниях маятника и о том, как измеряют время (§§ 118—120)	138
V.	Относительное движение одного тела по поверхности другого движущегося (§§ 121—122)	142
VI.	О механическом взаимодействии и о силах (§§ 123—126)	145
VII.	Обзор (§ 127)	153

Глава двенадцатая.

Работа и энергия.

I.	Что называется в физике работой и энергией? (§§ 128—130)	155
II.	Измерение работы и энергии (§§ 131—133)	158
III.	Преобразования энергии. Тепловая энергия (§§ 134—136)	161
IV.	Обзор и добавления (§ 137)	165

Глава тринадцатая.

Источники теплоты. Расширение и сжатие тел при изменении температуры. Распространение теплоты.

		стран.
I.	Об источниках теплоты (§ 138)	166
II.	Расширение и сжатие твердых тел и жидкостей (§§ 139—144).	167
III.	Изменение объема и упругости газов (§§ 145—147)	171
IV.	О мере расширения тел от нагревания (§§ 148—151)	175
V.	Течения в жидкостях и газах, связанные с изменением температуры (§§ 152—153)	178
VI.	О хороших и дурных проводниках теплоты (§§ 154—156) .	183
VII.	Обзор (§ 157) .	185

Глава четырнадцатая.

Вода, лед, пар.

I.	Таяние и замерзание (§§ 158—161)	186
II.	Испарение и кипение. Переход водяного пара в жидкое и твердое состояние (§§ 162—165)	189
III.	Водяные пары в воздухе. Атмосферные осадки	193
IV.	Обзор (§§ 166—168)	197

Глава пятнадцатая.

Температура и термометр. Переход тел из одного состояния в другое.

I.	Ртутный термометр. Тепло и холод (§§ 169—174)	198
II.	Плавление и испарение тел. Сжижение и отвердевание (§§ 175—176) .	204
III.	Обзор (§ 177) .	206

Глава шестнадцатая.

Количество теплоты. Теплота и работа.

I.	Что значит «количество» теплоты и как о нем судят? (§§ 178—182) .	207
II.	Расходование теплоты на плавление и испарение (§§ 183—184)	213
III.	Расходование теплоты на работу (§ 185)	215
IV.	Обзор (§ 186) .	216

ТАБЛИЧКА

для приблизительного перевода некоторых метрических мер на русские.

Метр (*м*) = 22,5 вершк. = 39,4 дюйм. (почти $^1/_2$ саж.).
Дециметр (*дм*) = 0,1 *м* = $2^1/_4$ вершк. = приблиз. 4 дюйм.
Сантиметр (*см*) = 0,01 *м* = приблиз. $^2/_5$ дюйм.
Миллиметр (*мм*) = 0,001 *м* = приблиз. $^1/_{25}$ дюйм.
Километр (*км*) = 1000 *м* = $^{15}/_{16}$ версты (почти верста).

Сажень. — Верста.
2 метра. — Километр.

Куб. метр = 1000 куб. дм (*дм*^{3}) = 0,103 куб. саж. (ок. 80 ведер).
Литр (куб. дм) — *л* = 1000 куб. см (*см*^{3}) = 61 куб. дюйм. ($1^3/_5$ бутылки, или $^2/_{25}$ ведра).
Грамм (*г*) = весу 1 куб. см (*см*^{3}) воды при 4° Ц = 10 дециграммам (*дг*) = 100 сантиграммам (*сг*) = 1000 миллиграммам (*мг*) = $\frac{1}{410}$ фунта = 0,23 золотника (почти $\frac{1}{4}$ золотн.).
Килограмм (*кг*) = весу 1 куб. дм (*дм*^{3}) (*л*) воды при 4° Ц. = 1000 граммам = 2,44 фунтам (немного менее $2^1/_2$ фунт., или $^1/_{16}$ пуда).
Тонна = весу *м*^{3} воды = 1000 кг = 61 пуду.

$2^1/_2$ фунта.
Килограмм.

1° *Ц* = $^4/_5$° *Р*.
1° *Р* = $^5/_4$° *Ц*.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О природе и о том, чему учит нас физика.

I. Физические тела. Явления природы и зависимость между ними. Наблюдение и опыт.

1. Что обыкновенно называют природою? Вы скажете: это — лес, поля, реки, горы, небесный свод с его светилами. Многие домашние предметы вы не отнесете к природе, а скажете, что они «сделаны»; и это, конечно, верно. Но, ведь, сделаны они из материалов, которые доставлены нам природой: в этом смысле они тоже части природы, только видоизмененные человеком. А почему мы можем изменять предметы сообразно нашим надобностям? Только потому, что знаем их свойства, знаем, как и отчего их свойства изменяются.

Физика все вещественные предметы, все тела рассматривает как части великого целого, называемого природой, и учит нас ближе знакомиться с их изменениями, или явлениями [1].

Посмотрите вокруг, и вы увидите, что с телами происходят многочисленные и разнообразные изменения. Обратите внимание хотя бы на «твердые» тела, каковы железо, камни, дерево, составные части нашей одежды и пр. От разных причин они изменяются в форме (гнутся, растягиваются и пр.), дробятся на части (ломаются), измельчаются. Отсюда неизбежная «порча», изнашивание при их употреблении. Это изнашивание, измельчение— одна из причин, почему образуется «пыль», от которой никогда не бывает свободен окружающий нас воздух: в пыли могут быть найдены частички всевозможных тел. Сахар, соль и многие другие твердые тела растворяются—распускаются—в воде. Самая вода является нам то жидкостью, то твердым телом (льдом), то

[1]) Самое слово «физика» происходит от греческого «физис», что значит «природа».

воздухообразным или газообразным (паром). Дрова в печи сгорают, превращаясь в газы, дым и золу. Легко можно было бы привести, кроме этих, еще множество явлений. Но сколько бы вы их ни насчитали, в действительности явлений несравненно больше: почти нет вещи, которая долго оставалась бы такою, какая она есть; в этом можно убедиться, если следить за нею — н а б л ю д а т ь — более внимательно, чем это обыкновенно делается. Вот ф и з и к а прежде всего и учит нас п о л н е е и т о ч н е е, чем обыкновенно, н а б л ю д а т ь я в л е н и я: при этом в них открывается много нового, много такого, что в обыденной жизни проходит мимо нас, просто как будто не существует.

2. Человеку, сколько-нибудь внимательно относящемуся к тому, что происходит вокруг, постоянно приходят в голову вопросы «как» и «отчего». В особенности назойливо навязываются они по отношению к «чудесам» науки и техники нашего времени. Любознательному человеку хочется иметь ответы на множество вопросов, и, конечно, ответы простые и понятные. Большею частью он и не подозревает, в какой тесной связи и зависимости находятся одно от другого явления природы, и как много иногда нужно уже знать, чтобы «понять» какое-либо «чудо» природы или техники. Но что значит: явления друг от друга «зависят»? Что значит «понять»? Дело в том, что если происходит какое-нибудь явление, то происходит не оно одно, а н е п р е м е н н о еще какое-нибудь или какие-нибудь явления, которые, может быть, и не всегда сразу заметны: нужно именно уметь наблюдать. Вы вбиваете гвоздь в доску: гвоздь входит—кажется, и все тут! Но нет; доска, если она не очень толста, от ударов вдавливается, прогибается; если она достаточно толста, то вы не заметите прогиба, но ведь это не значит, что она нисколько не изменяется в форме. А как вы думаете: от ударов молотка не изменяется ли форма и соседних предметов? Правда, они остаются такими же, какими и были, но отчего при ударах все кругом вздрагивает? Не оттого ли, что части предметов, хотя незаметно для глаза и на короткое время, перемещаются? Стук слышен обыкновенно и в другом этаже дома—конечно, оттого, что эти невидимые нам сотрясения частей передаются туда материалом постройки, да и воздухом, частички которого при ударах тоже сотрясаются. Но это далеко не все. Шляпка гвоздя от ударов заметно нагревается; нагревается мало-по-малу и весь гвоздь. От нагревания же гвоздь увеличивается в размерах, «расширяется». Хотите в этом убедиться? Вбейте в дощечку два проволочных гвоздика так (рис. 1), чтобы длинный (четырехдюймовый) проволочный гвоздь еле умещался между ними. Затем нагрейте гвоздь посильнее на углях; он уже не пройдет через прежний промежуток.

А охладится — снова пройдет. Чтобы это заметить, пришлось гвоздь нагреть сильно. Но, конечно, и при более слабом нагревании—от ударов молотка—с гвоздем происходит то же самое—только это можно было бы обнаружить более точными наблюдениями. Вбиваемый в доску гвоздь нагревается также от т р е н и я о дерево. Как от ударов, так и от трения нагревается всякая вещь: этого никак нельзя избежать. (Каждый ведь знает, что, например, пила нагревается, когда ею пилят дерево, что экипажные оси при езде становятся теплыми и пр.) При нагревании расширяются не только «твердые» тела, вроде железа, и «жидкие» — вроде воды, расширяется и воздух. Нагрейте хорошенько теплыми руками или осторожно над пламенем тонкостенную бутылку, н е п л о т н о заткнутую пробкой, опрокинув ее сперва горлом в воду: из нее начнет выходить пузырьками воздух. Если же бутылку закупорить плотно, то при достаточном нагревании пробка будет из нее выброшена напором воздуха. Нагревшийся и расширившийся воздух становится легче окружающего: поэтому он вытесняется более холодным кверху — всплывает, как мыло в воде. В натопленной комнате или бане более теплый воздух собирается под потолком: это легко заметить, став на что-нибудь повыше. Таким образом, от нагревания в окружающем нас воздухе неизбежно происходит движение, которое может стать очень заметным и сильным — произвести ветер и бурю.

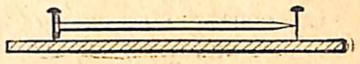


Рис. 1.

Теперь возьмите г у т т а п е р ч е в ы й гребень или палочку сургуча и потрите о с у х и е в о л о с ы. Вы заметите еще нечто совсем новое: к гребню будут прилипать — притягиваться—обрезки бумаги, соломинки, а если вы приблизите его к концу линейки, положенной срединою на круглую подставку (рис. 2), то притянется и конец линейки. В темноте вы увидите при расчесывании недавно вымытых волос гребнем искорки и услышите треск. Впоследствии вы узнаете, что это—м о л н и я и г р о м, только во многое множество раз слабее. То и другое—проявления «электричества». Тела при трении, ударе не только нагреваются, но и «наэлектризовываются»—приобретают способность притягивать легкие предметы, давать особого рода искры и пр. Вернемся к нашему первому примеру: при ударах и трении гвоздь, несомненно, электризуется. Не будем теперь же говорить о том, как это может быть доказано.

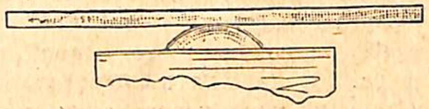


Рис. 2.

Достаточно, если вы признаете, что одно явление *неизбежно* связано со многими другими, хотя бы мы и не могли их сразу заметить. Можно, пожалуй, добавить, что перечень последствий сделан здесь далеко неполный.

Многим знаком «электрический звонок». Возьмем тот прибор («звонковый элемент»), которым звонок приводится в действие, и обмотаем идущую от него проволоку много раз вокруг железной палочки или дверного ключа. Теперь плотно приложим медные концы проволок друг к другу (рис. 3); тогда мы заметим, что к концам железной палочки притягиваются железные гвоздики или железные опилки: наша палочка сделалась *магнитом*. Разъединим, разомкнем проволоки, и магнитные свойства железа исчезнут. В электрическом звонке притяжение железа к такому временному магниту («электромагниту») именно и движет механизм звонка. Но проволоки, по которым распространяется «электрический ток», можно взять гораздо более длинными—в сотни и тысячи верст— и передавать сигналы на большое расстояние. Так произошел телеграф—одно из величайших изобретений прошлого века. С помощью нашего прибора можно обнаружить и еще кое-что любопытное: проволока, по которой проходит электрический ток, *нагревается*, и очень заметно, если она достаточно тонка. Кто имел в руках карманный электрический фонарик (внутри которого скрыто несколько маленьких элементов вроде звонкового), тот знает, как сильно накаливается током тонкая проволока внутри лампочки. На этом основывается один из способов электрического освещения.

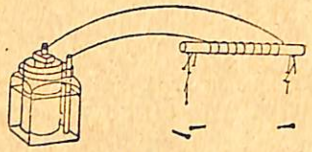


Рис. 3.

Итак, вот целый ряд примеров зависимости явлений друг от друга. Обнаружить неизбежную связь какого-нибудь явления с другими уже известными нам ближе или привычными — это и значит понять, объяснить себе его. *Возможно полное и точное наблюдение явлений природы с целью раскрытия их взаимной связи* — вот в чем главная задача изучения природы и, вместе с тем, *главная задача физики*.

3. Ставить вопросы, искать объяснений—несомненное право всякого. Но надо отличать действительные объяснения от кажущихся, и самый вопрос «отчего» ставить осмотрительно. Камень, ничем не поддерживаемый, падает. Отчего? «Оттого, что его притягивает земля», — ответит чуть ли не каждый. Сперва кажется, что вот полный ответ на вопрос. Но подумаем, что значит: земля притягивает. Ведь камень ничем не связан

с землею—никаких хотя бы и невидимых пружин и т. п. между землею и камнем нет. Слово «притягивает» значит *только то*, что камень падает, если его отпустить, или что он давит на нашу руку, растягивает пружину, к которой привешен, и т. п. Итак, в слове «притягивает» в сущности не содержится ничего нового, никакого *ответа* на поставленный вопрос, — это лишь особое наименование непонятного для нас явления. Нередки и другие случаи, где объяснение только кажущееся, сводящееся к замене одних слов другими. Вот пример уже совершенно наивной постановки того же вопроса. Однажды летом, когда я гулял со своим шестилетним сыном, он вдруг обратил внимание на одну дачу (мне кажется, не представлявшую ничего особенного), остановился и воскликнул: «Папа, какая красивая дача! *Отчего это*, папа?» Чем ответить на такой вопрос, кроме улыбки? Но на него, надо сознаться, иногда очень похожи вопросы приступающих к знакомству с физикой — и не только детей [1].

Подметив зависимость между явлениями, физика часто скажет вперед, какие явления *наверное должны произойти*. А ведь этим можно воспользоваться, чтобы произвести те именно последствия, которые нужны, полезны человеку. Вот на чем основаны обширные применения физики в практической жизни, в ремеслах и фабричном деле — вплоть до тех чудес, которым нельзя не удивляться. Различные применения можно видеть хотя бы на мельнице, на любой фабрике, на железной дороге (паровоз, телеграф и пр.). В городах, особенно в больших, множество машин для разных целей работает на заводах; работою машин многие города ныне снабжаются электрическим током для освещения и для движения трамвая. Здесь мы встречаем примеры более новых, сравнительно с паровой машиной и телеграфом, применений физики. И все это, в конце концов, дается внимательным отношением к окружающей нас природе—изучением взаимной зависимости ее явлений.

Ныне везде привлекает к себе только все новое, необычное. Но много нового и интересного можно обнаружить в самых обыкновенных, приглядевшихся нам вещах, если только снизойти к ним, внимательно понаблюдать и подумать; не гоняясь за чудесами, мы открываем их на каждом шагу. Обильный материал дает уже наша повседневная обстановка — комната, двор, соседний лес и пр.; по мере надобности мы будем добавлять ее приспособлениями и приборами, нарочно придуманными для более

[1]) Интересующиеся вопросами преподавания физики найдут кое-какой любопытный материал в брошюре: Н. С. Дрентельн.—«Из бесед с учащимися и ученические вопросы». 1917 г.

наглядного обнаружения взаимной связи явлений. Очень важно, чтобы занимающийся искал случаев видеть эти приспособления и опыты на деле, а еще лучше — сам занялся простейшими наблюдениями и опытами. Кто производит опыт, тот соприкасается с жизнью природы, а не смотрит лишь на сцену, которая никогда не может заменить самой жизни [1]).

Ограничимся пока этим немногим.

По мере знакомства с явлениями вы лучше увидите, что̀ такое физика, в чем ее интерес и значение.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

О нашей земле в безграничном небесном пространстве.

I. Земной шар. Миры «земной» и «небесный».

4. Тела и явления, изучаемые физикой, прежде всего — те, которые окружают нас на нашем земном обиталище. Из географии вы знаете, что земля — шар, или почти шар с поперечным диаметром несколько больше 12.500 километров [2]); «сплюснутость» земного шара очень мала, так что изображать его на чертежах приходится обыкновенно в виде круга. По сравнению с размерами земли высочайшие горы и наибольшие морские глубины— только мелкие неровности. Возьмите арбуз, помажьте часть его чем-нибудь клейким и посыпьте мелким песком: приставшие песчинки так же мало изменяют форму арбуза, как горы и морские глубины—форму земного шара. Из географии вы знаете, что высоту местностей принято считать от спокойной поверхности океана: она именно то, что в нашем примере гладкая поверхность арбуза.

Окружность (обхват) земного шара 40.000 километров. В наше время это людям уже не кажется чем-то очень большим.

Ведь при наших железных дорогах и пароходах можно совершать «кругосветное путешествие», если не щадить себя и средств, в несколько недель [3]). Курьерский поезд проходит по $1^1/_2$ тысячи

[1]) Много полезных указаний для самостоятельных наблюдений и опытов можно найти в книге: Н. С. Дрентельн—«Физические опыты в начальной школе». 1918.

[2]) Около 12.000 верст.

[3]) Первое кругосветное путешествие, предпринятое Магелланом в начале XVI века, длилось три года (1519—1522).

километров в сутки. Если бы можно было пустить такой поезд, например, по пути земного экватора, то он обошел бы вокруг земли в 25 суток. Телеграфные сношения делают для нас земные расстояния совершенно ничтожными. А какою громадною казалась земля в давно прошедшие времена, когда об ее форме и размерах ничего не знали и считали, что она сливается в одно с необъятным небесным миром, который мы видим перед собою.

5. На небесном своде плавают облака, и на нем же мы видим солнце, луну, звезды. Кажется, что все это рядом. Но в действительности, какая громадная разница в расстояниях. Обыкновенные дождевые облака держатся на высоте около версты, а самые высокие «перистые» облака (барашки) на высоте восьми или девяти верст над уровнем моря. Очень редко появляются видимые вечером и ночью серебристые «светящиеся» облака, высота которых еще раз в десять больше. На такой высоте воздуха уже очень мало: он находится в состоянии чрезвычайного разрежения или рассеяния. Однако, воздушная оболочка земли, ее атмосфера, простирается еще выше, становясь еще и еще разреженнее. Где кончается воздушная оболочка — этого в точности никто не знает: некоторые ученые думают, что на высоте 400—500 километров. Здесь граница земного мира. Но представьте себе, что мы продолжаем наш воображаемый путь. Надо было бы пропутешествовать 380.000 километров, чтобы достичь луны, и 150 миллионов километров, чтобы достичь солнца. Как лучше представить себе громадность последнего расстояния? Ядро дальнобойного орудия (большой пушки) с тою скоростью, какую оно имеет при вылете, если бы могло достичь солнца, прошло бы все расстояние в 5 лет, а упомянутый выше курьерский поезд — лишь в 275 лет... Нам же кажется, что и солнце, и луна, и облака к тому же—что все это по соседству одно от другого. Так может ошибаться наше зрение! А звезды? Из географии вы, вероятно, знаете, что вокруг солнца движутся— обращаются почти по кругам — восемь планет, в том числе и наша земля; планеты освещаются солнцем и блестят на небе, как звезды. Это еще сравнительно близкие к нам миры. Настоящие «звезды», которыми усеян свод небесный в ясную ночь—раскаленные, самосветящиеся тела, вроде солнца—во многое множество раз дальше: с их расстояниями уже не справиться нашему воображению. Пожалуй, можно подсобить себе следующим сравнением. Начертим круг диаметром в 1 вершок и представим себе, что он в сильно уменьшенном масштабе изображает собою годовой путь земли вокруг солнца (земную орбиту), так что расстояние земли до солнца было бы $^1/_2$ вершка. При таком масштабе пришлось бы ближайшую из звезд поместить в расстоянии пяти верст.

Большая же часть видимых простым глазом звезд поместилась бы в расстоянии десятков и сотен верст. А что за теми светилами, которые уже едва видны в сильнейшие астрономические трубы? Где границы вселенной? Никто этого не знает. Сравнительно с миром, открывающимся нашему взору, земля меньше малейшей пылинки. И, однако, живущий на ней человек светом своего разума охватывает этот мир и познает его величие. Эту силу дала ему наука. Кто хочет кое-что знать о мире, в котором живет, кто не хочет брести во мраке, пусть поучится, пусть потрудится: дело того стоит.

Бесчисленные «небесные тела» тоже изучаются физикой: той ее отраслью, которая называется астрономией. Но вернемся к земным предметам.

II. Почему тела падают на землю?

6. Всякое тело на земле имеет вес: ничем не поддерживаемое, оно падает, а если оно удерживается какой-нибудь подставкой или веревкой, то оно давит на подставку и тянет за веревку. Отчего? Говорят: земля притягивает и, надо думать, не напрасно говорят. Однако, разберем это внимательнее.

Все мы уверены, что тела (неодушевленные) сами собою не начинают двигаться и, видя, что какое-либо тело приходит в движение, ищем движущую причину вне тела: мы обыкновенно находим, что на него действует другое тело, которое его тянет или толкает, — хотя это может быть и не сразу видно. В ветреную погоду, например, на улице несутся разные мелкие предметы и пыль. Хотя мы и не видим, что их сдвигает с места, но знаем, что их толкает движущийся воздух—ветер. Вот еще любопытный пример совсем иного рода. Железо притягивается к магниту. Как бы ни загадочно казалось нам это явление, мы все-таки видим, что кусок железа начинает двигаться не сам собою, а от действия на него другого тела. Но между магнитом и железом мы ничего не замечаем, что походило бы на веревку, пружину и т. п. Поэтому мы и говорим, что между магнитом и железом действует магнитная «сила». Надо же ведь как-нибудь обозначить то, что железо не начинает двигаться к магниту само собою, а что его какая-то причина вынуждает двигаться, подобно тому, как мы сами заставляем предметы двигаться мышечной силой. Так и в рассматриваемом нами случае,—в случае падения тел на землю. Мы уверены, что есть причина, которая вынуждает тела падать. Если поло-

жим камень в угол ящика (рис. 4), то на нижнюю его сторону камень будет давить, а на боковую, которой тоже касается, нет. Но привяжем к камню веревку, просунем ее чрез отверстие в боковой стенке и станем тянуть, как показывает стрелка: камень теперь будет надавливать и на боковую стенку, и причину давления мы припишем силе тяги, производимой нашей рукою. Про тяжесть тел можно сказать то же самое: «вес» не в них самих, а в том, что их влечет к земле какая-то причина, точно за привязанную к ним веревку. Что это за причина—об этом ученые пока ничего не знают; может быть, что-либо невидимое в самом деле тянет тела к земле, а может быть что и толкает. Но надо было дать название этой, несомненно, существующей причине, которая точно приковывает нас к земле. Ее называют силою тяжести, или просто тяжестью. Не подумайте только—так как выше упоминалось о магните—что сила тяжести сродни магнитному притяжению: это нечто совсем другое.

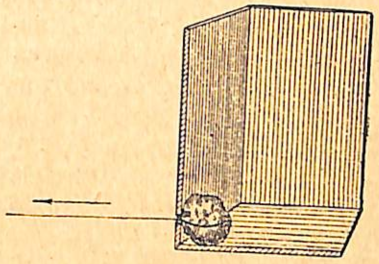


Рис. 4.

III. Отвесное и горизонтальное направления.

7. Направление силы тяжести, т.-е. то, по которому тело стремится падать, называется отвесным или вертикальным; оно указывается нитью, патянутою помощью грузика—отвесом (рис. 5). Грузик успокоившегося отвеса устанавливается всего ниже, т.-е. ниже, чем при всяком ином положении отвеса. С помощью отвеса легко заметить, что бо́льшая часть предметов, которые мы считаем «прямо-стоящими», на самом деле немного наклонны. Без отвеса не выводится ни одна стена построек: стена, уклоняющаяся от отвесного направления, была бы недостаточно устойчива.

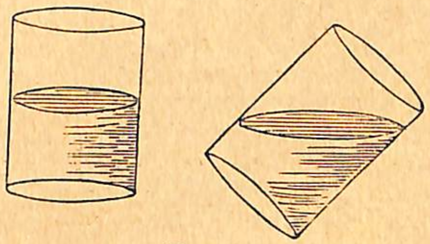


Рис. 6.

Рис. 5. *Отвес.*

Если в стакан нальем воды или другой жидкости, то их поверхность как бы сама собою установится в положении,

которое называется *горизонтальным* (рис. 6). Всякие неровности на поверхности жидкости, происходящие от толчка или других причин, быстро сглаживаются. Почему? Потому что сила тяжести тянет частички жидкости отвесно вниз, как тянет гирьку отвеса, и они тотчас же опускаются как можно ниже: горизонтальное расположение их и есть то, при котором им уже некуда сдвинуться еще ниже. *Отвесное и горизонтальное направления взаимно-перпендикулярны.* Если над спокойной поверхностью жидкости держать отвес, то его направление образует с поверхностью жидкости *прямой угол* (рис. 7). Итак, зная отвесное направление, мы тотчас найдем и горизонтальное—и наоборот. Надо только иметь «прямой угол»,—например, две скрепленных перпендикулярно друг другу линейки—наугольник. Как с помощью наугольника и отвеса вы проверите, например, горизонтален ли край стола (рис. 8)?

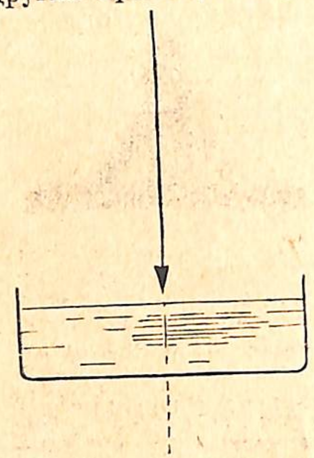


Рис. 7. Отвесное и горизонтальное направления.

Для проверки горизонтальности плотники обыкновенно пользуются *ватерпасом* (рис. 9). Есть еще удобный маленький прибор, называется *уровнем с пузырьком*, устройство которого видно из рисунка 10. (Если бы его трубка была не изогнутая, а прямая, то при горизонтальном ее положении как устанавливался бы пузырек? Почему бы ему тогда выбирать именно средину?)

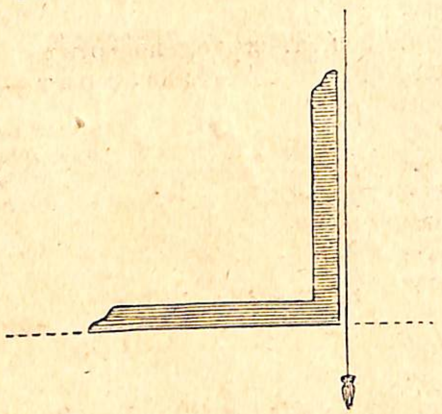


Рис. 8.

8. Одинаково ли направление отвеса, который вы держите, и другого, находящегося, например, по ту сторону улицы? С первого взгляда как будто даже странно задавать такого рода вопрос. Но вспомним, что наша земля не плоска, а шаровидна. В каждой точке земной поверхности отвес указывает «прямо вниз», а для земного шара это значит—по направлению к его «центру». Если отвесные линии в разных местах мысленно продолжить вглубь земли, то все они пройдут чрез ее центр. Значит, отвесные линии в каждой точке земной поверхности будут *продолжением земного радиуса*. Все это станет понятным, если в круглое яблоко или арбуз воткнуть несколько булавок так, чтобы они стояли на своих местах «прямо». На рис. 11 стрелками представлены направления отвесов в нескольких местах на поверхности земного шара.

После этого вы едва ли скажете, что отвесы по эту и ту сторону улицы параллельны между собою. Ведь *параллельными* называют в геометрии такие прямые, которые при продолжении никогда не встречаются. Но почему же тогда отвесы кажутся нам параллельными? Просто потому, что они слишком мало наклонены друг к другу, чтобы мы это могли заметить. Их мысленно нужно продолжить до земного центра, т.-е. слишком на 6.000 километров, чтобы они встретились.

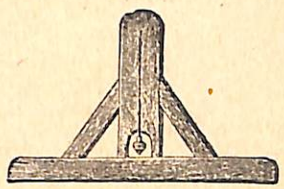


Рис. 9. *Ватерпас* — состоит из скрепленных под прямым углом бруска и планки; на последней проведена черта перпендикулярно нижней поверхности бруска и подвешен отвес, нить которого прикрывает черту при горизонтальности поверхности, на которой стоит ватерпас.

Вы знаете, что угол наклонения двух прямых выражается в *градусах*. Прямой угол делится на 90 углов по 1°. Угол в 1° уже настолько мал, что его трудно правильно начертить. На рис. 12 изображена часть земной поверхности в виде дуги довольно большого радиуса, так что самая дуга очень мало закривлена. Вы здесь видите: 1) что отвесы действительно стоят «прямо» (перпендикулярно) к земной поверхности, 2) что угол между не очень далекими отвесами небольшой: на рисунке два соседних отвеса, если бы их продолжить до встречи, составили бы между собою при центре угол всего в 5°, а два крайних— в 10°. Посмотрим, на каком расстоянии должны быть друг от друга два отвеса на земной поверхности, чтобы угол между ними был в 1°. Окружность земного шара содержит 360° и имеет 40.000 километров длины. На 1° придется 40.000 : 360, или несколько больше 110 километров (111 километров). Вы теперь можете сказать, что на нашем чертеже земной поверхности (рис. 12) расстояние между двумя крайними отвесами слишком 1.000 километров [1]).

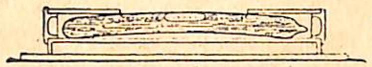


Рис. 10. *Уровень с пузырьком.* В оправу заключена запаянная и слегка изогнутая стеклянная трубка, почти заполненная жидкостью; оставлен лишь небольшой пузырек воздуха, занимающий при горизонтальном положении нижней плоскости оправы средину трубки, т.-е. самое высокое ее место.

[1]) Очень просто определяется расстояние между двумя точками на географической карте. Стоит только посмотреть, сколько раз в нем укладывается длина одного градуса меридиана, проходящего тут же поблизости.

Итак, мы узнали, что такое в действительности отвесная прямая на земной поверхности. Теперь уж легко сообразить, что и горизонтальное направление в разных местах земли различно, так как оно везде перпендикулярно отвесному (рис. 11).

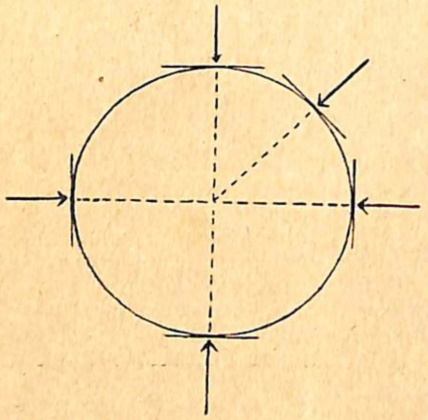


Рис. 11. Отвесное и горизонтальное направления на земной поверхности.

В прошлые времена людям—и даже ученым—казалось невообразимым, чтобы жители «по ту сторону» земли могли устоять, будучи обращены ногами к нашим ногам (этих потусторонних жителей назвали по отношению к нам «антиподами»).

Нарисуйте на круге, изображающем земной шар, человеческие фигурки вместо начерченных на рис. 11-м отвесов (стрелок). Пометьте «верхнюю» буквою *А*, а «нижнюю» буквою *В*. Сейчас *А* воображает, что стоит прямо, а что *В* опрокинут. Но поверните чертеж на полоборота: теперь *В* скажет то же самое про *А*. Кто же прав? Конечно оба, потому что оба, крепко притянутые к земному шару, стоят каждый отвесно на своих местах. С непривычки кажется, что «нижний» должен куда-то «упасть». Но ведь это все равно, как если бы вот сейчас кто-нибудь из нас отделился от земли и устремился напрямик в небесное пространство...

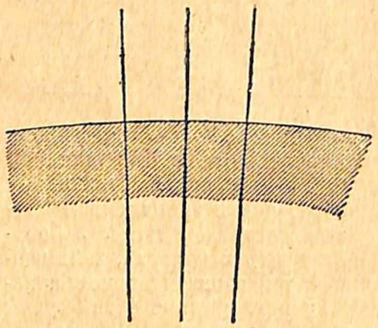


Рис. 12.

9. Вопросы. 1) Как велик угол (в градусах), составленный отвесными прямыми, из которых одна проведена на земном экваторе, а другая на одном из полюсов? Каков угол, составленный горизонтальными плоскостями тех же мест? (См. выше рис. 11.)

2) Всякое тело на земле падает как можно ниже. Что значит «ниже» и «выше» на земном шаре? От какой точки считать? Почему высоты местности считаются от уровня океана?

IV. Как определить угол между отвесами двух мест по их географической широте или долготе?

10. Для точного определения какого-нибудь места на земной поверхности, как известно из географии, воображают себе

меридианы и параллельные круги (параллели). Это представлено на рис. 13; но лучше всякого рисунка взять круглое яблоко или арбуз и нацарапать на поверхности экватор и несколько меридианов, наметив сперва противоположные полюсы. Число градусов от экватора — к северу или югу — до параллели, проходящей чрез данное место, называется географической широтой этого места, северной или южной, а число градусов по параллели от условного «первого» меридиана — к востоку или западу — до меридиана данного места называется его географической долготою — восточной или западной.

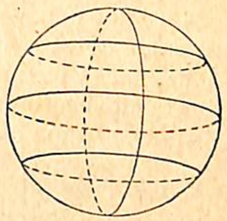


Рис. 13. Меридианы и параллели.

Выберем два города на одном меридиане: таковы, приблизительно, Ленинград и Киев: широта первого 60°, второго 51°. Чтобы отметить место Ленинграда на чертеже (рис. 14), отсчитаем от экватора к северу по меридиану 60°, т.-е. $^2/_3$ четвертной дуги *DN*: получим точку *A*; место Киева будет *B* — на расстоянии 51° по меридиану от экватора. Но взгляните на углы, составляемые с направлением экватора отвесными прямыми, или земными радиусами, проведенными в точках *A* и *B*, — на углы *ACD* и *BCD*: в каждом из них столько «угловых» градусов (прямой угол содержит их 90), сколько в дугах *AD* и *BD* «дуговых» градусов. Широты Ленинграда и Киева разнятся на 9°: столько же градусов заключается в угле *ACB*, составленном между собою отвесными линиями этих двух точек земной поверхности. Итак, если мы знаем географические широты двух точек, лежащих на одном меридиане, то по их разности сразу узнаем и угол между отвесными прямыми в этих точках. Два крайних отвеса на рис. 12 наклонены друг к другу почти так, как отвесы в Ленинграде и Киеве (на 10°).

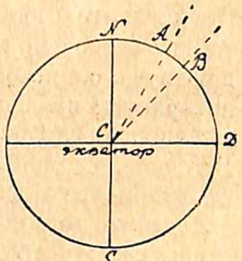


Рис. 14.

Найдите на карте Сибири город Олекминск: он почти на параллели Ленинграда (60°), а долгота его от последнего 90°. Выходит, что угол между отвесами этих двух городов — прямой, и что житель Олекминска стоит перпендикулярно по отношению к жителю Ленинграда.

V. Отчего на земле не везде одинаковое время.

11. Когда в Ленинграде полдень (12 час.), в Москве часы показывают половину первого, а в упомянутом выше городе Восточной Сибири, Олекминске, уже 6 час. вечера. Посмотрим, в чем

здесь дело. Каждый знает, что земной шар равномерно вращается вокруг оси от запада к востоку. Наши чувства опять обманывают нас: нам кажется, что небесные светила в течение суток обходят вокруг земли от востока к западу. Суточным вращением земли объясняется смена дней и ночей. Но оно же дает нам точную меру времени: вращающийся земной шар—как бы огромные часы, за ходом которых следит стрелка часов (хронометров) астронома. Нам, однако, нет нужды гоняться за астрономическою точностью, чтобы понять, отчего на земле не везде одинаковое время. Конечно, это зависит именно оттого, что земля вращается вокруг оси: в Ленинграде полдень, когда солнце как раз над меридианной линией Ленинграда — когда оно всего выше над горизонтом; в это время отвесно поставленный шест дает самую короткую тень, и тень ложится к северу вдоль полуденной (меридианной) линии [1]). Правильнее сказать так: если вообразить себе, что чрез меридианную линию Ленинграда будет проведена отвесная плоскость (следовательно она пройдет чрез центр земного шара) и мысленно продолжить эту плоскость в небесное пространство, то в полдень солнце будет в этой плоскости: оно будет на меридиане Ленинграда. Ради наглядности положим, что по меридианной линии, процарапанной на яблоке, врезан в яблоке, чрез его центр, гладкий лист жести: этим обозначится положение меридианной плоскости или меридиана (рис. 15).

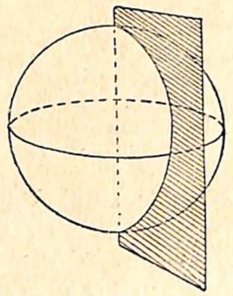


Рис. 15.

Представьте себе теперь место на 15° к западу от Ленинграда. Здесь солнце еще не поднялось до меридиана: оно будет в нем только чрез час, потому что именно в течение одного часа земной шар повернется на 15° (он оборачивается в сутки на 360°, т.-е. на 15° ежечасно); следовательно, в этом месте еще только 11 час. утра. В точке, лежащей на 15° к востоку от Ленинграда, солнце было на меридиане час тому назад; следовательно, в момент, когда в Ленинграде полдень, здесь уже час пополудни. Мы видим отсюда, что на каждые 15° разницы в географической долготе приходится по одному часу разницы во времени: чем восточнее место, тем более впереди его часы, и наоборот. Разница во времени двух мест прямо узнается по географической карте. Москва восточнее Ленинграда на $7^1/_2$°, а потому «московское» время на $^1/_2$ часа впереди «ленинградского». Олекминск лежит к востоку от Ленинграда на целых 90°, т.-е. на 6×15°, и его время впереди ленинградского на 6 часов.

[1]) Надо заметить, что это не бывает всегда в 12 час. по верным часам: кажущееся обращение солнца вокруг земли не вполне согласуется с ходом хороших часов.

А почему время почти одинаково в Ленинграде и Киеве (разница всего 1 мин.), хотя эти города далеки один от другого?

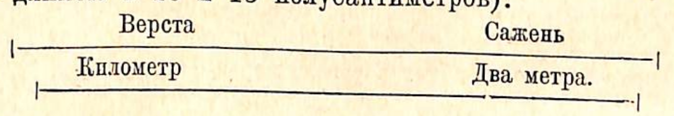
Согласно декрета Сов. Нар. Ком. от 15-го марта 1924 г., с первого мая «в целях установления однообразного с другими странами счета времени в С.С.С.Р. вводится поясное время».

Сущность этой системы состоит в том, что вся поверхность земного шара разделяется на двадцать четыре пояса (по числу часов в сутках). Эти пояса идут с запада на восток, против видимого движения солнца, то есть в том направлении, в котором вращается земля. Каждый часовой пояс захватывает полосу в 15° с востока на запад. На этом пространстве в границах каждого пояса и устанавливается одинаковое время. Для каждого пояса берется среднее время местности, находящейся посредине данного пояса. При поясной системе в пределах одного и того же пояса максимальная разница между местным (действительным) временем крайнего пункта пояса и временем поясным (условным), т.-е. временем центра пояса, никогда не будет больше получаса. Для практической жизни эта разница в полчаса не играет никакой роли и не создает никаких затруднений. Ширина часовых поясов такова, что, например, вся европейская часть Р.С.Ф.С.Р. входит в границы только двух поясов.

Международным соглашением принято считать начальным поясом полосу земной поверхности, границы которой проходят в $7^1/_2$° к востоку и к западу от Гринвичской астрономической обсерватории (близ Лондона). В этом поясе законным временем считается гринвичское время.

VI. О метрической системе линейных мер.

12. С размерами земного шара связаны метрические или десятичные меры, которые входят все в большее употребление и у нас в С.С.С.Р. Нет ничего неудобнее и скучнее как возиться с переводом одних мер в другие. Но в былые времена каждое государство, а в нем иногда и отдельные области, имели свои собственные меры. Чтобы положить конец путанице, в конце XVIII века во Франции была установлена и предложена всему миру однообразная система мер. Основная единица длины была взята так, чтобы она укладывалась в окружности земного меридиана ровно 40 миллионов раз; она названа метром. Впоследствии, при более точных промерах, оказалось, что изготовленный образец метра чуть короче одной сорокамиллионной меридиана, но он сохранен, потому что разница очень мала, и ее редко приходится принимать во внимание. Метр делится на 10 дециметров, 100 сантиметров, 1000 миллиметров; длина в 1000 метров называется километром. Метр равняется $22^1/_2$ вершкам, что немного меньше полусажени; километр несколько меньше версты ($^{15}/_{16}$ версты). Вот наглядное изображение того, как верста относится к километру (взяты отрезки длиною в 16 и 15 полусантиметров):



Таково же отношение сажени к двум метрам, как тут и обозначено: сообразите почему?

Сокращенные обозначения: метр — *м*, дециметр — *дм*, сантиметр — *см*, миллиметр — *мм*, километр — *км* [1]).

13. Вопросы. 1) Окружность земного шара 40 миллионов *м*, или 40.000 *км*; перевести в версты. Сколько верст приходится на длину 1° меридиана. Ответ: $103^{1}/_{3}$.

2) Считая диаметр земного шара округленно в 12.000 верст, выразить его в километрах. Средний рост человека 1,5 *м*; самое высокое на земле здание, Эйфелева башня в Париже, имеет 300 *м* высоты (в 200 раз больше среднего человеческого роста); самая высокая гора — Эверест в Гималаях — возвышается на 8,9 *км* над уровнем моря (почти в 6.000 раз больше человеческого роста). Во сколько, примерно, раз названные величины меньше земного диаметра? Ответ: в $8^{1}/_{2}$ миллионов раз; почти в 43.000 раз; почти в $1^{1}/_{2}$ тысячи раз.

3) Говоря точнее, диаметр экватора 12.755 *км*, или 11.956 в., а длина земной оси 12.712 *км*, или 11.916 в. Разница 43 *км*, или 40 в. Какую приблизительно долю (дробь) экваториального диаметра составляет эта разница? Ответ: Около $^{1}/_{300}$ (диаметр экватора можно при делении округлить до 12.800 *км*, или 12.000 в.). Если бы мы изобразили на классной доске диаметр экватора прямою в 30 *см*, то насколько короче пришлось бы сделать земную ось? Ответ: На 1 *мм* — это почти толщина тонкой меловой черты, так что на доске пришлось бы начертить циркулем круг.

VII. Как найдены размеры земного шара?

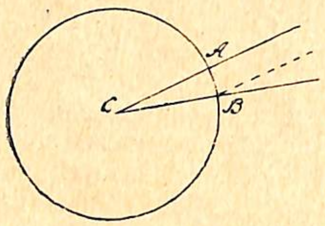


Рис. 16.

14. Чтобы это было вполне ясно, нужно знать кое-что из геометрии. Вот как можно, пожалуй, понять сущность дела без всяких вычислений. Положим, что в точке *A* (рис. 16) какая-нибудь звезда находится как раз по направлению отвесной линии (у нас «над головою» или, говоря точнее, «в зените»). Если мы будем отступать по меридиану к югу, то направление отвесной линии будет изменяться, а направление луча, идущего от звезды, останется то же самое, потому что звезда находится от земли на огромном расстоянии, сравнительно с которым перемещение по земле совершенно

1) См. справочную табличку перевода мер в начале книги.

ничтожно. Переместимся настолько, чтобы угол между отвесной линией и лучом стал равен 1° (для измерения этого угла, который на рисунке гораздо больше градуса, направляют зрительную трубу вертикально, а потом на звезду и отсчитывают угол поворота трубы). Это будет значить, что мы переместились по земной поверхности именно на 1°. Остается измерить, сколько верст или километров между точками *A* и *B*, и найденное расстояние умножить на 360. Узнав таким образом длину земной окружности, вычисляют по формулам геометрии диаметр земного шара.

VIII. Обзор и добавления.

15. Наша земля — земной шар — одна из восьми планет, обращающихся вокруг солнца. От суточного вращения земли вокруг оси происходит смена дней и ночей, а также и то, что в разных точках одной и той же параллели часы показывают разное время: на каждые 15° к востоку — час вперед. (От годового обращения земли вокруг солнца происходят «времена года».)

Поперечник (диаметр) земного шара — 12.800 *км* (12.000 в.), а окружность — 40.000 *км* ($37^{1}/_{2}$ тысяч верст).

Тела удерживаются на поверхности силою тяжести, которая как бы тянет их по направлению к центру земного шара. Это направление в каждой точке земной поверхности указывается отвесом; он же — продолжение прямой, проведенной от центра к данной точке на поверхности земли, т.-е. продолжение земного радиуса. Угол, составляемый при земном центре отвесными прямыми в двух точках, лежащих на одном меридиане, узнается по разности в географической широте этих точек (а лежащих на одной параллели — по разности в долготе).

Углу в 1° соответствует на земной поверхности расстояние в 111 *км* (почти в 105 верст).

Горизонтальное направление — то, в каком устанавливается от действия тяжести спокойная поверхность жидкости в сосуде. Отвесное и горизонтальное направления составляют между собою прямой угол, так что, зная одно, находят другое.

16. Земля окружена в о з д у х о м, воздушною атмосферою, а бо́льшая часть ($^{5}/_{7}$) ее поверхности покрыта в о д о ю. Физика научила людей доставать пробы воздуха с высоты километров 30 слишком, — образчики морской воды и ее содержимого — с самых больших глубин океана, километров в 10; вглубь с у ш и удалось проникнуть пока лишь километра на 2. Вот мир, в котором живет и работает человек, — тот мир, который ему нужно знать прежде всего, чтобы уметь бороться с силами природы, облегчать свой труд и расчищать путь потомству.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Воздух, нас окружающий (атмосферный воздух).

I. Воздух сжимаем и упруг.

17. Присутствие воздуха мы замечаем при сильном взмахе рукою, быстром беге или при ветре (движущийся воздух). Воздухом наполнен всякий сосуд, который обыкновенно называют «пустым». Если опрокинутый стакан погрузим краями в воду, даже глубоко (рис. 17), то вода не наполнит стакана, потому что этому мешает находящийся в стакане воздух. (Уровень воды в стакане заметнее, если на воду сперва пустить кусочек пробки.) Если в горло небольшой склянки плотно вставим узкогорлую воронку и нальем в нее воды, то вода останется в воронке, пока воздуху не дан будет изнутри выход.

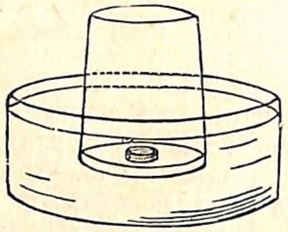


Рис. 17.
Вода не заполняет погруженного в нее опрокинутого стакана.

Из рисунков 18а и 18б видно, каким образом можно опускаться довольно глубоко для подводных работ, поместившись в «водолазный колокол» или надев на себя непроницаемый «водолазный кожух». В обоих случаях необходимый воздух доставляется накачиванием через идущую сверху трубку.



Рис. 18а.
Водолазный колокол.

Присутствие воздуха в телах пористых, каковы: губка, сахар, песок, легко обнаружить, кладя эти тела в воду: вытесняемый воздух выходит из них пузырями. В воде, которую мы пьем, всегда «растворен» воздух. Если холодную воду оставим стоять в открытом стакане, то современем заметим на стенках стакана множество пузырьков: это выделяющийся из воды воздух. Еще обильнее и быстрее образуются пузырьки, если подогреть воду.

Благодаря растворенному в воде воздуху, возможна жизнь населяющих воду животных и растений.

18. Вопросы: 1) Плотно наложив ладони рук одна на другую, чтобы между ними осталась «пустота», и сжимая их, вы чувствуете противодействие—как от упругой подушки. То же замечаем мы на «надутом» и зажатом бумажном мешке, если он достаточно плотен. Отчего?

2) Почему лист развернутой газеты падает так медленно? Как он упал бы, если бы его сжать в плотный комок?

3) Положите на гладкий стол оконное стекло, приподымите его за один край и отпустите: оно упадет «мягко» и не разобьется, хотя бы было высоко поднято. Отчего?

19. Сдавливая резиновый мяч, надувая велосипедную шину, мы чувствуем сопротивление, напоминающее сопротивление сжатой пружины. Имевшие дело с велосипедным насосом, кроме того, хорошо знают, что, лишь только прекращено надавливание на рукоятку, она возвращается на свое прежнее место.



Рис. 18б.
Водолаз в водолазном костюме.

Воздух сжимаем и упруг. Конечно, многие из вас забавлялись игрушечным воздушным пистолетом или самодельной «картофельной пушкой» (рис. 19); ими сжимаемость и упругость воздуха обнаруживается очень наглядно. На рис. 20 изображена стеклянная трубка с «поршнем», т.-е. плотно пригнанной подвижной затычкой; при вдвигании поршня пробка, закупоривающая трубку, вылетает с сильным треском.



Рис. 19.
Оба отверстия толстого гусиного пера закупоривают картофельными пробками, вдавливая концы в ломтик картофеля. Круглой палочкой, которая свободно входит в перо, выталкивают одну из картофельных пробок. Когда воздух достаточно сожмется, другая пробка будет с треском выброшена.

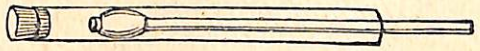


Рис. 20.
«Воздушный пистолет».

Давлением воздуха можно заставить бить воду фонтаном (рис. 21).

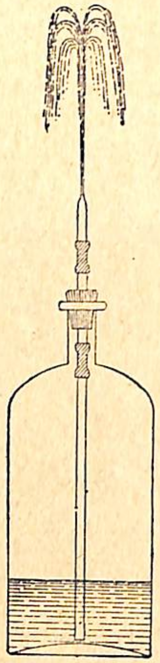


Рис. 21. Если ртом надуть через стеклянную трубку воздуха в бутылку, зажать пальцами резиновую перемычку, отнять рот, а затем и пальцы, то вода под напором воздуха забьет фонтаном.

Сила упругости воздуха применяется на практике для некоторых очень значительных действий. Напором сжатого воздуха выбрасывается пуля из ружья для стрельбы в цель, прижимается тормоз к колесу вагона; сжатым воздухом приводятся в действие машины, заменяющие в некоторых случаях небольшие паровые, и т. п.

Итак, воздух, как всякое другое тело, сопротивляется сдавливанию; когда же он сжат, он производит давление на тела, к которым прикасается. Пробы показали, что сильным давлением наш обыкновенный воздух можно сжать в н е с к о л ь к о с о т р а з (раз в 800); дальше его сжимать становится так же трудно, как любое твердое тело.

Не правда ли, воздух напоминает собою пружину, или, лучше сказать, — множество мелких сложенных в кучу невидимых пружинок?

20. Сдавим резиновый мячик пальцами в одном месте: он выпучится во всех других. Давление, производимое на воздух, передается им одинаково в о в с е с т о р о н ы. Так можно, например, надавливая на резиновый пузырь, передать давление по трубке в другой пузырь и приподнять лежащий на нем кирпич (рис. 22). Может быть, вы видели «воздушный звонок»? В нем тоже надавливанием на резиновый пузырек сжимают воздух; его сжатие передается по длинной трубке в другой пузырек, а этот уже, раздуваясь, приводит в движение механизм звонка.

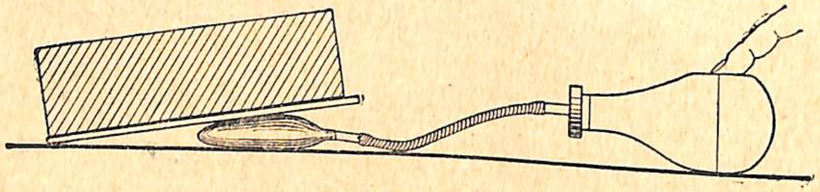


Рис. 22.
Напором сжатого воздуха кирпич приподнимается.

II. О весе воздуха.

21. Всякая вещь на земле имеет в е с. Воздух тоже имеет вес и вовсе не столь ничтожно малый, как обыкновенно думают. Сосуд с воздухом становится тяжелее, если «накачать» или «нажать» в него побольше воздуха, и легче, если часть воздуха будет из него удалена. Для накачивания может служить, например, насос, которым надувают велосипедные шины, или футбольный мяч. Как устроен этот насос? В трубке движется плотно пригнанный к ней поршень (он сделан иначе, чем изображенный на рисунке 20); вдвигая поршень, мы сдавливаем и выталкиваем воздух; особый затвор или клапан, как бы маленькая форточка, дает воздуху проход в шину, но не пускает его обратно.

Если футбольный мяч, хорошо надутый воздухом, подвесить к весам и уравнять (уравновесить) противовесом, а потом выпустить сжатый воздух, то другая чашка заметно перетянет. Мяч величиною с обыкновенный арбуз может стать легче, примерно, грамма на четыре (один золотник).

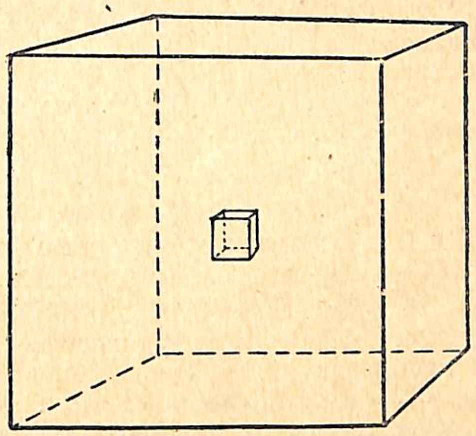


Рис. 23.
Сравнительные объемы воздуха и воды (вес одинаков).

22. Найдено, что к у б и ч е с к и й м е т р о б ы к н о в е н н о г о к о м н а т н о г о в о з д у х а в е с и т $1^{1}/_{4}$ к и л о г р а м м а (почти 3 фунта). (А что значит кубический метр?) Кубический дециметр (литр) воды весит 1000 граммов, а кубический дециметр воздуха $1^{1}/_{4}$ грамма; следовательно, комнатный воздух во столько раз легче воды, во сколько 1000 больше $1^{1}/_{4}$, т.-е. в 800 раз. Мы сравнили вес воздуха и воды, взятых в о д и н а к о в о м о б ъ е м е. Напротив, если бы мы взяли воды и воздуха п о о д и н а к о в о м у в е с у, то воздух занимал бы в 800 раз больший объем, чем вода (рис. 23).

Какое весовое количество воздуха помещается в комнате, если длина ее 8 метров, ширина 5, а вышина 4? Перемножив эти числа, найдем, что объем воздуха равняется 160 куб. метров; следовательно, вес 200 килограммов, или 12 пудов с небольшим.

Мы взяли комнату обычных размеров. В зале длиною в 30 метров, шириною 10, а вышиною 4 метра, как вы легко найдете, воздух весит сотню пудов!

С непривычки — этому как-то не верится... Но мало ли что сперва кажется чудным! Вот в былые времена люди никак не могли поверить тому, что наша земля — шар: ведь выходило бы, что жители по ту сторону земли стоят вверх ногами... А теперь, надо думать, все вы уже знаете, в чем здесь дело (если нужно, можете и припомнить сказанное об этом в § 8). Так и с тяжестью воздуха: приходится лишь признать то, что твердо установлено физическими опытами. Дальше мы еще поговорим об этом. Пока же подумайте, как вольготно живется рыбе даже на большой глубине под водою: она, наверное, не чувствует, чтобы ее сдавливала вода, а ведь вода в 800 раз слишком тяжелее обыкновенного воздуха.

23. Вопросы: 1) Сколько фунтов весит куб. арш. воздуха?[1].
Ответ: Почти ровно фунт.

2) Сколько граммов воздуха вмещает обычная мера, называемая ведром.
Ответ: 15 граммов[2].

3) Сравнить вес куб. саж. воздуха с весом ведра воды (30 фунт.).
Ответ: Куб. сажень воздуха весит немногим меньше ведра воды.

III. Окружающий нас воздух сильно сжат и стремится неограниченно расшириться.

24. Итак, воздух занимает место, может быть сильно сжат (уменьшен в объеме), упруг, имеет вес. Все это свойства, которые мы находим и в твердых, и в жидких телах; правда, уменьшить объем твердого или жидкого тела сжатием можно лишь очень мало, но все-таки можно, если надавливать очень сильно.

Теперь мы займемся таким свойством воздуха, которым он отличается, и очень отличается, от твердых и жидких тел. Прежде всего: какой вывод напрашивается сам собой из того, что воздух имеет вес? Конечно, тот, что окружающий нас воздух сжат тяжестью всего над ним лежащего. Но воздух далеко

[1]) См. табличку мер в начале книги.
[2]) Не следует забывать разницы между «ведром» в смысле объемной меры (12,3 литра) и ведром, как посудой, вместимость которой довольно различна.

простирается над земной поверхностью. Если в большой комнате помещается не один десяток пудов воздуха, то можно представить себе, как велико должно быть давление всех верхних слоев на нижний, в котором протекает наша жизнь! Итак, мы дышим сильно сжатым воздухом; в каждом «пустом» сосуде не только содержится воздух — в нем содержится сильно сжатый воздух. Но воздух упруг: мы уже сравнивали его с кучею сложенных вместе невидимых пружинок. Дайте этому сжатому воздуху больше простора, предоставьте больший объем, и он тотчас расширится — заполнит все предоставленное ему пространство, как бы велико оно ни было. Вот это-то, главным образом, отличает воздух от твердых и жидких тел. Воздух — пружина, но пружина совсем особенная. Представьте себе сосуд величиною с комнату, и положим, что в нем совершенно не было бы воздуха. Если бы в такой сосуд мы внесли столько обыкновенного воздуха, сколько помещается в наперстке, то он тотчас расширился бы и занял бы все пространство сосуда.

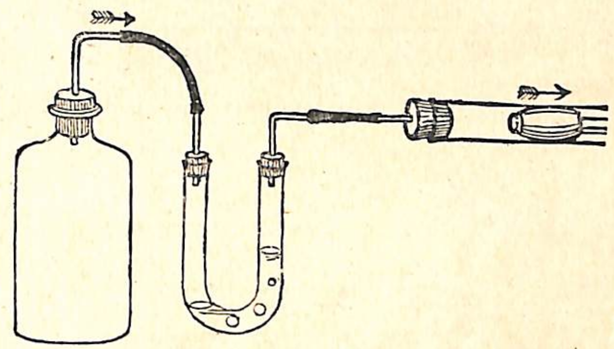


Рис. 24.

При вытягивании поршня воздух из склянки пузырьками проходит сквозь воду.

Возьмем опять трубку с поршнем — вроде велосипедного насоса — и сперва вдвинем поршень почти до самого конца, так что под ним останется лишь очень мало воздуха. Закроем плотно конец трубки и станем вытягивать поршень: таким образом, мы дадим оставшемуся воздуху больше простора. Я думаю, вы скажете, что воздух занял теперь все освободившееся пространство — и будете правы! Он только стал менее плотным, чем был, или, как говорят еще, разредился. А чтобы расширение воздуха можно было «увидеть», возьмем трубку не металлическую, а стеклянную (вроде изображенной выше на рисунке 20) и примешаем к воздуху немного табачного дыма, а еще лучше сделаем так, чтобы воздух пузырьками проходил сквозь воду.

Взгляните на прибор, изображенный на рисунке 24. Между склянкой (слева) и трубкой с поршнем (справа) вставлена дугообразно изогнутая трубка с водою. Лишь только немного потя-

нем поршень вправо, вода в этой трубке станет выталкиваться расширяющимся в склянке воздухом, который затем начнет выходить из нее пузырьками. Чтобы в склянку при обратном движении поршня снова не вошел воздух, насадим на выходную резиновую трубку пружинный зажим и зажмем им трубку. Вынув пробку, закрывающую трубку с поршнем, вдвинем поршень, т.-е. вытолкнем воздух наружу, потом вложим пробку, откроем зажим и снова вытянем поршень: из склянки опять выйдет некоторое количество воздуха. С каждым вытягиванием поршня в о з д у х а в с к л я н к е б у д е т с т а н о в и т ь с я м е н ь ш е — он делается в ней все р а з р е ж е н н е е.

Значит, так можно удалять воздух из сосуда? Да, но только не подумайте, что так удалось бы мало-по-малу удалить в е с ь воздух из сосуда: это вы потом поймете лучше. Самое важное для нас то, что мы нашли способ уменьшить количество воздуха в сосуде: ведь его наружу не выльешь точно так, как не выльешь воды из наполненной ею склянки, если самая склянка находится под водою. А удалить часть воздуха — и даже большую его часть — можно, предоставляя воздуху свободное пространство — давая ему расширяться и разрежаться.

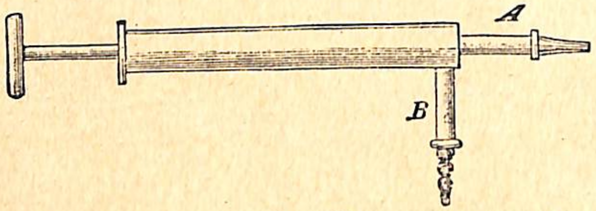
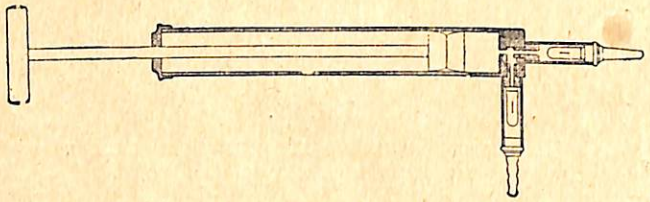


Рис. 25а.


Рис. 25б.

Воздушный насос разрежающий и нагнетающий.

25. То, что мы сейчас делали, гораздо лучше достигается помощью прибора, называемого в о з д у ш н ы м н а с о с о м (рис. 25а и 25б), который только кое-чем отличается от нашей трубки с поршнем. Его трубка (цилиндр) оканчивается двумя ветвями: в одной (*В*) есть затвор или клапан, открывающийся только наружу, а в другой (*А*) — клапан, открывающийся только внутрь (клапаны эти можно, если угодно, сравнить с форточками наших окон). Поэтому, при в д в и г а н и и поршня воздух выталкивается через ветвь *В* наружу, а при в ы д в и г а н и и — выходит снаружи внутрь цилиндра по ветви *А*. Это хорошо слышно

по шипению то в одной, то в другой ветви, если двигать поршень вперед и обратно. С воздушным насосом мы ближе познакомимся впоследствии. А теперь сделаем два следующих опыта.

Разболтаем в склянке (такой, как выше на рисунке 24) немного воды с наструганным туда мылом, чтобы получилась хорошая пена. Сообщив склянку, через посредство резиновой трубки, с ветвью *А* насоса (рис. 25а), станем разрежать воздух: пена вспучится и скоро заполнит собою всю склянку. Впущенный затем воздух снова сожмет пену.

Уравновесим склянку (достаточно большую и нарочно приспособленную для этого опыта) на весах и, сняв с весов, хорошенько разредим в ней воздух, после чего плотно закроем. Теперь она станет легче, чего, конечно, и следовало ожидать. Откроем выходное отверстие: наружный воздух войдет с легким шипением, и вес склянки восстановится. Отчего именно наружный воздух сам собою входит в склянку, в которой воздух был разреженный? Что было бы, наоборот, если бы воздух в склянке был сжат сильнее, чем наружный, и мы открыли бы выходную трубку? Который воздух можно сравнить с пружиной более с ж а т о й: наружный или внутренний, более разреженный?

Итак, мы видим, что воздух действительно способен расширяться, занимать тем больший объем, чем большее свободное (безвоздушное) пространство ему предоставлено. Но что воздух может расширяться не только в какой-нибудь десяток раз, а раз в 1000 и гораздо больше — этого мы с нашими средствами доказать не можем. Однако, самыми точными опытами не удалось найти границ, дальше которых воздух перестал бы расширяться. Вот что особенно замечательно.

26. Вопросы. 1) Можно ли взять неполную бутылку воздуха (как берут неполную бутылку жидкости), если остальная часть бутылки ничем не занята?

2) Если воздух постоянно стремится занять больший объем, то почему он остается в открытой склянке, а не выходит из нее наружу?

3) Положим, что воздух, наполнявший собою открытую склянку вместимостью в 10 *см*^{3}, расширился до объема в 1 *дм*^{3}; какая доля прежнего воздуха останется в склянке? Ответ: $^1/_{100}$.

4) Можно ли сказать, что воздуха при расширении становится больше, а при сжимании меньше? Изменяется ли при этом вес взятого воздуха?

5) Куб. дециметр обыкновенного воздуха весит $1^1/_4$ грамма. Сколько будет весить куб. дециметр воздуха, сжатого вдвое, втрое, вдесятеро против обыкновенного? Куб. дециметр воздуха, расширившегося вдвое, втрое, вдесятеро?

6) В повседневной жизни воздух часто называют «тяжелым» («густым») или же «легким», смотря по тому, как им дышится. Что в действительности надо понимать под воздухом более тяжелым или более легким, нежели обыкновенный окружающий нас воздух?

7) Каков должен быть воздух на большой высоте над земною поверхностью, например, на высоких горах? Если иной, чем внизу, то почему? Чтобы ответить на этот вопрос, подумайте, где в большом стогу сено плотнее: в самом низу или сверху, и почему?

IV. Еще о воздухе.

27. Теперь вы, конечно, причислите воздух к «телам» природы. Это тело имеет много общего с твердыми и жидкими, хотя и отличается от них некоторыми интересными особенностями. Пожалуй, главная особенность воздуха, как одного из «газов», та, что он постоянно стремится расшириться, разжаться, и потому

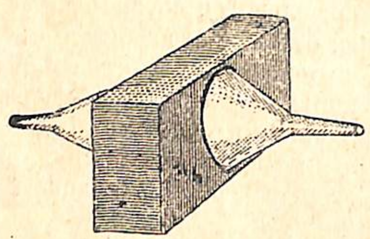


Рис. 26.
Если в одну из воронок нагнетать воздух мехами или насосом, то из отверстия другой воронки выходит струя воздуха, отклоняющая пламя свечи.

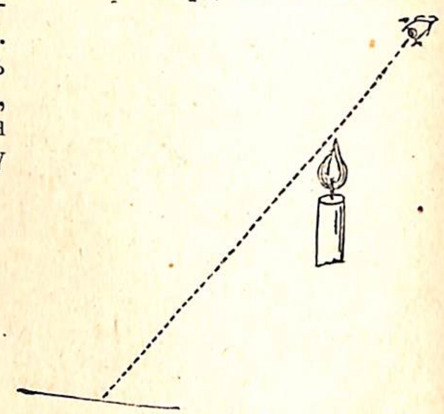


Рис. 27.
Если смотреть поверх пламени на хорошо освещенную (например, дневным светом) печатную страницу, можно отчетливо видеть дрожание поднимающегося над пламенем теплого воздуха.

чрезвычайно легко проникает всюду, где место не занято чемлибо сплошь. Трудно, например, поверить, как легко воздух проходит сквозь кирпичную кладку стен, что, однако, очень наглядно обнаруживается опытом (рис. 26).

Есть ли воздух нечто невидимое, как обыкновенно думают? Взгляните на чудную синеву неба: ведь эта синева — цвет большой толщи воздуха. А теплый воздух, струящийся над сильно нагретой почвой, над пылающим костром или другими горячими предметами, при небольшом внимании легко прямо заметить. На рис. 27 показано, как во всякое время днем можно увидеть теп-

лый воздух, поднимающийся над пламенем свечи. А при сильном освещении, например солнечными лучами, горячие воздушные струйки над пламенем свечи или над раскаленной кочергой дают явственную т е н ь на белой бумаге. Над земной поверхностью атмосферный воздух простирается вверх, становясь все разреженнее, километров на 400 — 500. Воздух, который нас окружает, будучи сжат, в свою очередь, д а в и т на все, с чем соприкасается: на пол, на стены, на потолок комнаты; стенки сосуда не только снаружи, но и изнутри подвержены давлению воздуха. Мы живем на самом дне «воздушного океана» и тоже сдавлены его тяжестью. Как доказать на опыте, что а т м о с ф е р н о е д а в л е н и е действительно существует, и как узнать его величину, об этом мы поговорим впоследствии.

V. Обзор.

28. Воздух занимает место, сжимаем, упруг, имеет вес: кубический дециметр (литр) обыкновенного комнатного воздуха весит примерно $1^1/_4$ грамм. Воздух — одно из физических тел.

От твердых и жидких тел воздух отличается способностью неограниченно расширяться — занимать все предоставленное ему пространство, как бы велико оно ни было. Следовательно, воздух может быть и более и менее плотным, чем обыкновенный атмосферный, притом во много раз; в первом случае его обыкновенно называют «сжатым», а во-втором «разреженным». Это, конечно, удобно, но ведь и сильно разреженный воздух все еще стремится расшириться и, следовательно, тоже может быть рассматриваем, как сжатый.

Давая воздуху, при помощи трубки с поршнем, расширяться в склянке и выходить из нее, мы можем уменьшить количество его в склянке — более или менее разредить его. Для этого и служит воздушный насос.

Воздух нельзя считать совершенно невидимым: в большой толще он имеет голубой цвет, а в малой становится видимым и даже дает тень, когда бывает нагрет сильнее, чем окружающий.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

О физических телах вообще: твердые и жидкие тела.

1. Твердые тела.

29. Несмотря на разнообразие физических тел, которое каждому бросается в глаза, в них есть и сходства. При вниматель-

ном наблюдении удается открыть в известных уже нам телах
новые свойства и, вместе с тем, новые сходства. Мы видели, напри-
мер, что даже в о з д у х, столь резко отличающийся от дерева,
камней, металлов, воды, имеет с ними нечто общее. Сходные
признаки позволяют нам соединять тела в отделы или классы,
и это очень облегчает первоначальное знакомство с ними.
Камень, кусок железа, стекла, дерева, пробки и т. п. имеют то
общее, что сохраняют ф о р м у, которую получили в природе
или от искусственной обработки; напротив, вода, спирт, керосин,
ртуть и т. п. очень легко изменяют ее, принимая обыкновенно
форму сосуда, в котором содержатся. Тела первого рода назы-
ваются «твердыми», а второго «жидкими» (жидкостями). В этом
смысле кусок хлебного мякиша, воска или сала — твердые тела,
хотя они, конечно, мягки сравнительно с железом или стеклом.

30. Познакомимся ближе с несколькими твердыми телами.
Вот прежде всего образцы металлов: железо, сталь, чугун, медь
(красная и желтая), цинк, олово, свинец, алюминий, магний, никкель.
Назовем еще «драгоценные металлы» — платину, золото, серебро.
Из этих металлов с а м ы е т я ж е л ы е — платина (немного
тяжелее золота), потом свинец; с а м ы е л е г к и е — магний
и алюминий. Самый твердый и упругий — сталь (закаленная,
см. ниже, в этом же параграфе), самый мягкий — свинец. Легче
всего п л а в я т с я, т.-е. становятся жидкими при нагревании,—
олово и свинец, потом цинк; всего труднее — платина и железо.
Достаточно раскаленное (в кузнечном горне) железо становится мяг-
ким и тогда куется. В сыром и нечистом воздухе б ы с т р е е
в с е г о и з м е н я ю т с я — теряют свой блеск, р ж а в е ю т —
железо (чугун, сталь) и свинец. Многие металлы изменяются
и при накаливании: железо и медь чернеют; олово и свинец,
будучи расплавлены, покрываются серой пленкой; магний и цинк
г о р я т, превращаясь в белые порошки. (Сильно раскаленное
железо, только что вынутое из кузнечного горна, тоже горит
и превращается в черную о к а л и н у.) Только чистые золото,
серебро и платина не изменяются в воздухе, даже при накаливании.

Если пластинку, палочку или проволоку из какого-нибудь
металла взять за один конец, а другой держать в огне, то довольно
скоро прогреется и весь металл. М е т а л л ы х о р о ш о про-
в о д я т т е п л о т у.

Сталь может быть з а к а л е н а — сделана очень твердой и
упругой, или же о т о ж ж е н а — сделана мягкой, как железо;
первое достигается быстрым, а второе медленным охлаждением
раскаленной стали.

Железо, сталь, чугун и никкель п р и т я г и в а ю т с я маг-
н и т о м.

31. Теперь возьмем примеры тел н е м е т а л л и ч е с к и х. Дерево разных сортов можно отличать между собою как по внешнему виду, так и по весу (стоит только куски одинаковой величины положить на весы, а иногда и просто на руку), по твердости, крепости и пр. Стекло интересно прежде всего своею прозрачностью; но в нем легко обнаружить и другие свойства, пожалуй, для вас неожиданные. Например, тонкая стеклянная полоска или трубка гнутся, как стальные (рис. 28), хотя и легко ломаются (хрупки). Как и стальные, они тотчас принимают прежнюю форму, лишь только перестать гнуть. Стекло не только гибко, но и у п р у г о.

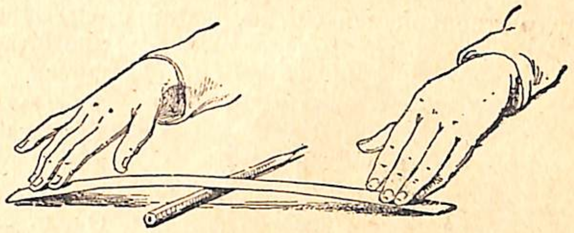


Рис. 28.

От этого зависит следующее: ударьте друг о друга нижними краями две толстые бутыли: они отскочат, точно стальные; а если после удара продолжать нажимать на них, то послышится «дробь», как после падения стального молота на наковальню. При нагревании в огне стекло делается мягким, как воск: тонкая стеклянная трубочка погнется, если даже подержать ее долго в пламени свечки. При этом кстати заметьте, что стекло «проводит теплоту» гораздо хуже металлов: самый короткий кусочек трубки можно держать, не обжигаясь, за один конец, когда другой раскален: совсем так, как вы держите в пальцах короткую горящую щепку. Пользуясь тем, что стекло легко размягчается в жару, применяют стеклянные трубки при составлении многих простых приборов для физических и химических опытов. При нагревании еще более сильном стекло тянется в нити и пленки и даже становится вполне жидким. Хорошо восполь-

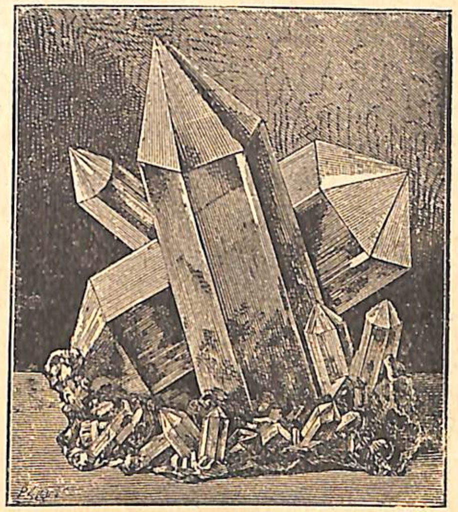


Рис. 29. Кристаллы горного хрусталя.

зоваться случаем побывать на стеклянном заводе, где можно видеть, как из расплавленного в печи стекла изготовляют посуду, трубки и пр.

32. Любопытно, что многие твердые тела могут, помимо искусственной обработки, сами собою принимать определенные многогранные формы, отличающиеся известною правильностью. Тела в таких формах, как бы изготовленные искусною рукою мастера, называются к р и с т а л л а м и. Очень разнообразные по виду и величине кристаллы в изобилии находят готовыми в природе (см., например, рис. 29 и 30). Но встречаются хорошие случаи наблюдать и самое образование кристаллов. Когда начинает замерзать стоячая вода (например, лужа), на ее поверхности появляются длинные иглы — кристаллы льда. Подобные же ледяные кристаллы образуются зимою на обмерзающем оконном стекле и часто соединяются в причудливые узоры. Снежинка (рис. 31) также состоит из сросшихся вместе ледяных кристалликов. Стоит поймать снежинку на рукав пальто и тут же, не дав ей подтаять, рассмотреть в увеличительное стекло. При медленном



Рис. 30. Кристаллы самородной серы.



Рис. 31. Снежинки.

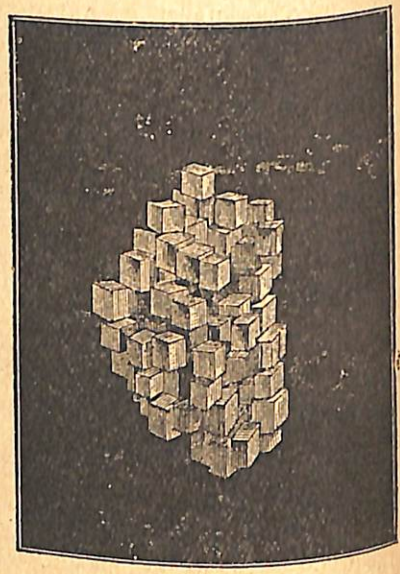


Рис. 32. Кристаллы обыкновенной соли.

испарении водного раствора (высыхании) обыкновенной соли соль выделяется из жидкости в виде прямоугольных кристалликов, по форме близких к кубикам (рис. 32). Многие металлы, например, чугун, цинк, олово, имеют явно кристаллическое сложение, что бывает хорошо видно в месте их излома.



Рис. 33. Глетчер (горный ледник).

33. Прилагая большее или меньшее усилие, можно изменять форму многих твердых тел: сгибать, сдавливать, растягивать. Некоторые выдерживают значительное изменение формы; другие, хрупкие, как, например, стекло, легко ломаются, — однако же мы видели, что и стекло гибко. Медленные, но весьма значительные изменения формы могут происходить даже в очень хрупких телах под действием собственного веса; например, палочка сургуча изгибается, если оставить ее долго лежать подпертою с концов. Лед сам по себе тело хрупкое, но под громадным

*

давлением тяжести лежащих выше масс лед так называемых глетчеров, или горных ледников (рис. 33), медленно стекает с горных высот в долины, как текла бы река из очень вязкой жидкости. А камни? Говорят: «тверд, как камень». Но наблюдения показали, что и многие каменные пласты внутри земли с течением веков изменяют свою форму, прогибаются, если находятся под большой тяжестью вышележащих (рис. 34).

Все твердые тела податливы, только в различной степени.

Можно еще прибавить, что все они в большей или меньшей степени у п р у г и, т.-е. способны сами собой восстанавливать, хотя и не вполне, свою форму, когда устранены причины, ее изменившие.

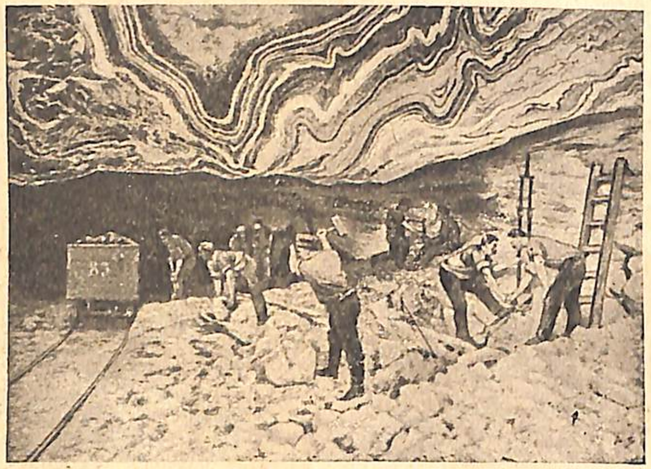


Рис. 34. Прогнувшиеся каменные пласты.

II. Жидкие тела.

34. О б р а з ц ы ж и д к о с т е й — по порядку их различной текучести или густоты: чистый спирт, вода, керосин, вазелиновое масло, крепкая серная кислота, глицерин, касторовое масло, густой гумми-арабик. Р т у т ь—жидкий, тяжелый м е т а л л, содержащийся обычно в наших комнатных термометрах, при 39° мороза он затвердевает и тогда очень похож на серебро.

Вот еще примеры жидких р а с т в о р о в: растворы обыкновенной соли и сахара в воде, стеарина или иода в спирте, парафина в керосине (парафин — материал, из которого делаются, между прочим, елочные свечи).

35. Частички жидкости гораздо подвижнее нежели частички твердого тела: они легко скользят одна около другой. Поэтому

уже от собственной тяжести — давления верхних слоев на нижние — жидкость растекается, если не встречает преграды, или же принимает форму сосуда. Однако, мы знаем, что малое количество жидкости часто принимает форму, близкую с шарообразной (дождевые капли, мелкие капли росы на листьях или брызги воды на масляной бумаге, мелкие ртутные капли); значит, и жидкости не совсем лишены способности принимать сами собой определенную форму (см. рис. 35). Но это не все. Каждый, конечно, замечал образование больших быстро лопающихся водяных пузырей на лужах во время дождя, и всем знакомы м ы л ь н ы е п у з ы р и. Тонкая пленка из мыльной воды легко образуется при мытье рук между большим и указательным пальцами, если сложить их кольцом. Хотя в мыльной воде и содержится немного постороннего вещества, именно мыла, но мы все же имеем дело с настоящей жидкостью. И вот мы видим, что жидкость сама

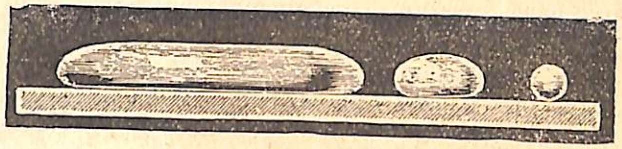


Рис. 35. Форма капель на поверхности, к которой жидкость не пристает.

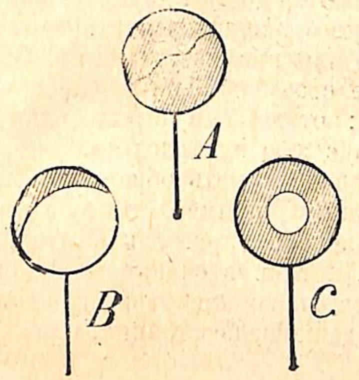


Рис. 36.
На кольце образована мыльная пленка; нить, укрепленная в двух точках, слабо натянута (*A*). Если прорвать пленку по одну сторону нитки, пленка, стягиваясь, натянет нитку дугой (*B*). Петля из нитки при прорыве пленки внутри петли расправляется в круг (*C*).

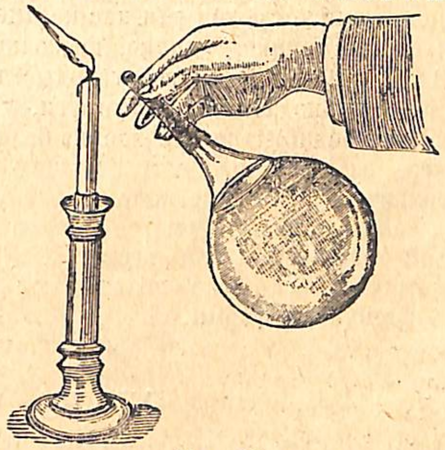


Рис. 37.

собою не только может принять шаровидную форму, но что частички жидкости могут образовать, взаимно удерживаясь, очень тонкий, гибкий и упругий слой. Жидкая пленка натянута, как тонкая резиновая. Это видно из опытов (рис. 36). Оболочка мыльного пузыря стремится сократиться, стянуться и несколько сжимает содержащийся внутри ее воздух (рис. 37). Все это ясно показывает, что частички жидкости тоже взаимно связаны, хотя и слабее, чем в твердых телах.

III. Обзор.

36. Частички твердых тел крепче соединены или связаны между собою, чем частички жидких; поэтому твердое тело может сохранять приданную ему форму, а жидкость текуча и под действием силы тяжести принимает форму сосуда, в который налита.

Каждое тело целым рядом свойств или признаков отличается от других тел. Например, металлы отличаются друг от друга сравнительным весом, плавкостью, способностью изменяться с поверхности в сыром и нечистом воздухе, или при накаливании. От неметаллических тел они отличаются своим особенным блеском и тем, что хорошо проводят теплоту: оттого они быстро отнимают ее от руки при соприкосновении с нею и «холодят».

Некоторые свойства твердых тел надо «уметь обнаружить»: иначе они остаются для нас незаметными. Например, стекло, хотя и очень хрупко, однако, несколько гибко и упруго, как сталь. В действительности все твердые тела, хотя и в очень различной степени, податливы и упруги. Когда частички твердого тела могут соединиться в целое из более подвижного состояния, например, из раствора, они большею частью складываются в многогранные формы, имеющие известную правильность,—в кристаллы.

Жидкости отличаются одна от другой, между прочим, различной текучестью или густотой. Что их частички тоже связаны между собою, ясно показывают принимаемые ими шаровидная и пленчатая формы.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

Об измерении длины и объема.

I. Измерение длины и объема.

37. Всякое физическое тело занимает часть пространства и сопротивляется проникновению другого тела в это пространство. Без этого свойства мы не можем представить себе «вещественного предмета».

Часть пространства, занимаемая телом, называется его объемом. В житейской практике постоянно приходится встречаться с задачей сравнения и измерения объемов — вообще протяжений. Физика учит, как можно производить точные измерения.

Но в житейской практике во многих случаях они вовсе не нужны. Кроме того, чем точнее измерение, тем оно труднее. Самое важное для нас здесь — хорошенько *понять*, в чем именно состоит измерение, и узнать то немногое, без чего нельзя обойтись уже при первом знакомстве с физикой.

В каждом руководстве арифметики говорится, что *измерить величину — значит узнать, сколько раз в ней содержится однородная с нею величина, принятая за единицу*. Длину измеряют длиной, например, метрами, аршинами, километрами, верстами. Про величину площади уже недостаточно сказать: такой-то длины, или такой-то ширины — никто не поймет; надо узнать, сколько в ней квадратных метров, квадратных аршин и т. п., т.-е. сколько в ней укладывается *площадей*, принятых за единицу меры. Объем, т.-е. то пространство во все стороны, которое занимает собою тело, опять же измеряется *объемом* [1]). Едва ли поймете меня, если я скажу: «рабочие выкопали сажень глины». Вероятно, вы меня поправите: «не сажень, а кубическую сажень», потому, что ведь не сажень, а кубическая сажень тот объем, который служит здесь единицею. (На практике, впрочем, иногда скажут «сажень» вместо «кубическая сажень», но только для краткости.) Многим эти «кубические меры» кажутся чем-то трудным, путаным; поэтому остановимся на них подольше.

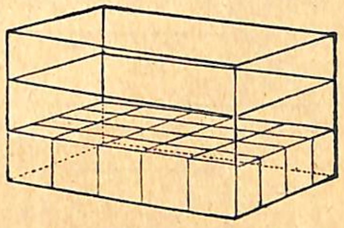


Рис. 38.

На рис. 38 изображено прямоугольное тело, длина которого, положим, 5 сантиметров, ширина 4 сантиметра, а вышина 3 сантиметра (конечно, рисунок представляет все уменьшенным); надо узнать, каков объем тела. Наша единица здесь — *кубический сантиметр*, т.-е. *куб, ребро которого равно сантиметру*. «Узнать объем» — значит найти, сколько таких кубиков содержится во всем теле. Мы бы это и узнали, еслиб постарались все пространство, занимаемое телом, сплошь запол-

[1]) Иногда смешивают выражения: «объем» и «обхват». Но при одном и том же объеме предмет может иметь множество обхватов.

нить такими кубиками. Но легко сообразить, что этой возни вовсе не нужно. Стоит лишь число сантиметров длины, ширины и вышины перемножить между собою: произведение и даст нам число кубических сантиметров, умещающихся в объеме тела — это видно из чертежа. Значит, мы измерили объем объемными же единицами (кубическими сантиметрами), но воспользовались для этого линейными сантиметрами, так что нам вовсе и не понадобилось иметь в руках кубический сантиметр. Подумайте, как этот прием упрощает измерение объема. Ведь без него, если бы нам нужно было узнать, сколько кубических метров содержит объем комнаты, пришлось бы наготовить огромное количество кубов (кубических метров), уложить ими вплотную все пространство комнаты и сосчитать число кубов. Едва ли у кого нашлись бы для этого возможность и терпение... В действительности же дело сводится к тому, чтобы перемножить между собою три числа.

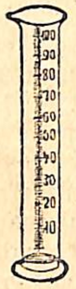


Рис. 39. Мензурка.

Вы, может быть, скажете: хорошо, а как быть, если тело не прямоугольное, а, например, цилиндр (как труба), шар? Я отвечу: объем этих и многих других правильных тел тоже измеряют кубическими единицами; только здесь задача уже труднее и решается она в геометрии.

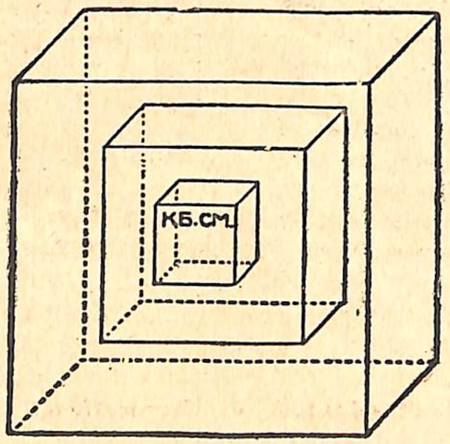


Рис. 40. Кубические сантиметр, дюйм и вершок.

38. Как определить объем тела любой формы? Опустите камень в стакан, до краев наполненный водою: камень вытеснит собою, заместит, такой объем воды, какой занимает сам; объем вылившейся воды уже легко измерить, потому что воду, как жидкость, можно перелить в удобный для этого сосуд. Вот (рис. 39) изображение стеклянного измерительного цилиндра, или цилиндрической мензурки — одного из приборов, которым нам часто придется пользоваться для измерения объема жидкостей. Деления (черточки) сделаны на нем так, что в промежутке между двумя соседними вмещается столько жидкости, сколько ее входит в кубик, ребро которого равно 1 сантиметру, т.-е., короче говоря, 1 кубический сантиметр. Длина в один сантиметр (линейный)

общепринятая теперь мера; только словом «сантиметр» часто неправильно называют также и самую тесемку, длиною обыкновенно в 150 *см*, или $1^1/_2$ метра.

На рис. 40 изображен кубический сантиметр сравнительно с кубическим дюймом и кубическим вершком.

Для измерения объема взятого нами камня надо только позаботиться о том, чтобы собрать, по возможности без потери, всю вытесненную им воду. Для этого очень удобна кружка с отливным носком, или отливной трубкой (рис. 41), под которую при вытеснении и подставляют мензурку. Возьмем теперь два разных прямоугольных тела (рис. 42); мы можем определить их объем и геометрическим способом и физическим (вытеснением). В первом теле $9 \times 2 \times 2 = 36$ *см*^{3}, во втором $6 \times 3 \times 2$, т.-е. тоже 36. Первое таково, что входит в достаточно широкую мензурку. Нальем в нее воды, хотя бы до 50 деления, и погрузим туда тело: число делений, на которое поднимется вода, покажет нам его объем. Другим телом, более широким, вытесним воду из кружки в мензурку. В обоих случаях, обыкновенно, получим число *см*^{3}, близкое к 36, а не точно 36; но за большой точностью нам ведь и незачем гнаться: для начала важнее простота и удобство. А уж что проще описанных здесь приемов! Измерьте вытеснением объем яблока, картофелины или огурца.

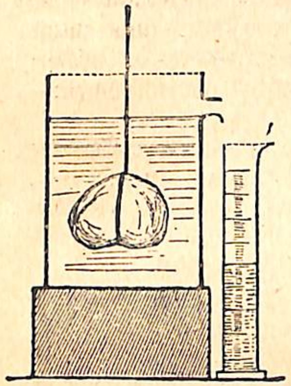


Рис. 41.

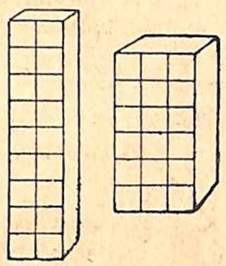


Рис. 42.

II. Единицы длины, поверхности и объемные.

39. Мы видели, что измерение объема опять приводит нас к единицам длины, относительно которых и надо условиться. Единица длины может быть выбрана, как угодно, лишь бы она была чем-либо постоянным, неизменным. Измерение шагами годно лишь на первый случай, так как длина шага довольно изменчива. Измерение аршином не может быть правильным, если каждый будет мерить «на свой аршин»: длина

аршина всегда и всюду должна быть одна и та же. Важно, чтобы единица была общепринята: без этого трудно понимать друг друга. Наконец, единица должна быть удобна для данной цели: никто не станет, без особенной надобности, выражать толщину волоса в долях версты, или расстояние между землею и луною в вершках (хотя, конечно, и то и другое вполне возможно); поэтому от основной единицы производят целый ряд других чрез повторение и дробление.

В наше время общепринятой считается метрическая или десятичная система мер, о которой уже сказано выше (§ 12). Поверхности измеряются квадратными метрами, квадратными дециметрами и пр., а объемы — кубическими метрами, кубическими дециметрами и т. д. Весьма употребительна — для жидкостей — объемная мера, называемая литром: она равна вместимости куба, ребро которого = 1 дециметру, т.-е. объему одного кубического дециметра. Сокращенные обозначения: — литр — *л*, кубический сантиметр — *см*³.

Вот табличка, облегчающая раздробление линейных и кубических единиц метрической системы:

м	дм	см	мм
1	10	100	1000
—	1	10	100
—	—	1	10
м²	дм²	см²	мм²
1	100	10000	1000000
—	1	100	10000
—	—	1	100
м³	дм³	см³	мм³
1	1000	1000000[1])	1000000000
—	1	1000	1000000
—	—	1	1000

III. Обзор и добавления.

40. Измерить величину — значит, узнать, сколько раз в ней содержится однородная с нею величина, принятая за единицу. Линейною единицею служит условно принятая неизменная длина. Ныне общепринята установленная во Франции

[1]) Интересно кстати заметить, что кубический метр больше кубического сантиметра почти в столько же раз, сколько раз надо было бы взять нашу землю, чтобы составился шар величиною с солнце.

в конце XVIII в. метрическая система мер с десятичным подразделением и повторением единиц. Единицею площади служит площадь квадрата, сторона которого равняется линейной единице. Объем прямоугольного тела легко узнается геометрически: измерением трех его ребер и перемножением полученных чисел. Геометрия дает «формулы», по которым можно вычислить объем и многих других тел правильной формы, если даны некоторые линейные их размеры.

Объем тела любой формы можно найти физическим приемом: вытеснением равного ему объема жидкости в измерительный цилиндр. Между двумя соседними делениями такого цилиндра вмещается та или иная объемная единица жидкости.

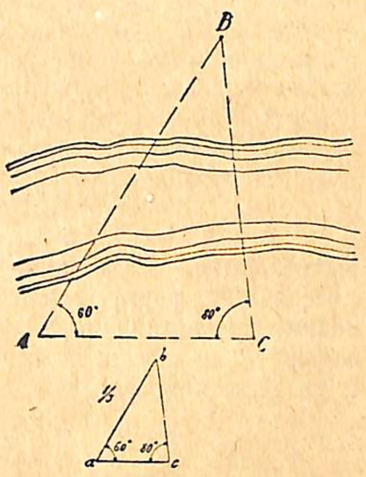


Рис. 43.

41. Как измерить длину, непосредственно недоступную, например, расстояние от точки *A* до другой *B*, находящейся по ту сторону реки? (Рис. 43.) Проведем вдоль берега прямую линию *AC* и измерим ее. Потом измерим угол *BAC*, наводя трубку угломерного прибора, поставленного в *A*, сперва по направлению *AC*, потом по *AB*, отсчитывая в градусах угол поворота трубки; точно также измерим угол *BCA*. Теперь построим, по основанию и двум углам при нем, в произвольно уменьшенном размере, треугольник *abc*, сходный с *ABC* («подобный» треугольнику *ABC*), и измерим длину стороны *ab* нашим уменьшенным масштабом; отсюда узнаем и действительную длину *AB*. На рис. 43, например, стороны треугольника *abc* уменьшены втрое против *ABC*, следовательно, каждый миллиметр длины соответствует 3 миллиметрам «действительного» треугольника *ABC*. Измерив сторону *ab*, находим 15 мм; поэтому длина *AB* будет $4^1/_2$ см. Более точно неизвестная длина находится вычислением по формулам геометрии.

После этого нетрудно понять, как можно, например, найти расстояние между центрами земного шара *C* и луны *L* (рис. 44). Выберем на земной поверхности две точки *A* и *B* на одном меридиане, по возможности дальше одна от другой, и измерим углы *DAL* и *EBL*, составленные вертикальными прямыми обоих мест с направлениями, по которым из каждого видна

луна. Тогда в четыреугольнике $ALBC$ мы будем знать: 1) углы a и b, которые получатся, если измеренные нами углы вычтем каждый из 180°; 2) угол c, который определится по географическим широтам мест A и B (разностью или суммою широт — почему?); 3) стороны AC и BC— радиусы земного шара. Этого достаточно, чтобы построить в уменьшенном масштабе четыреугольник, сходный с $ALBC$, и измерить в нем расстояние, соответствующее CL, откуда найдем и действительное расстояние. Точнее оно и здесь находится вычислением. Расстояние между центрами земли и луны равняется $60^1/_4$ радиусам земного шара. При бо́льших расстояниях, каковы расстояния до солнца и в особенности до звезд, приемы сложнее, но все-таки основываются на некоторых линейных и угловых измерениях.

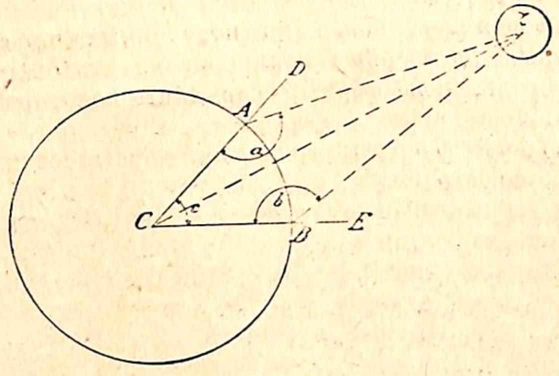


Рис. 44.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

Воздухообразные или газообразные тела.

I. Углекислый газ.

42. Есть большое число тел, подобных воздуху, сходных с ним в том, что они могут неограниченно расширяться и могут быть во много раз сжаты. Они называются газообразными телами или «газами». Во многих городах горящий «светильный газ», добываемый на газовых заводах, распределяется сетью подземных труб и горит светлым пламенем в уличных фонарях. Обыкновенно его просто называют «газом», но это лишь один из множества газов — как и воздух, с которого мы начали.

Когда из бутылки с шипучим напитком с шумом вылетает пробка, и жидкость пенится, можно, пожалуй, подумать, что из нее выделяется воздух. Но если после того, как пена опадет, опустим в бутылку зажженную лучинку, то она тотчас же погаснет. В такой же «порожней» бутылке лучина прогорит

некоторое время. Лучинка точно также будет гаснуть в том газе, который с шипением выделяется, если кусок мела или яичную скорлупу облить крепким уксусом или водою, к которой прибавлена соляная кислота.

Во всех этих случаях мы имеем дело с новым газообразным телом, которое называется углекислым газом. Чтобы лучше познакомиться с его интересными особенностями, надо его добыть побольше: для этого берут какой-нибудь известняк— мел, серый панельный плитняк или мрамор—и соляную кислоту. Прибор, служащий для добывания, изображен на рис. 45. Углекислый газ тяжелее воздуха, и потому его можно прямо набрать в стакан, как именно показано на рисунке. Он даже продержится в стакане некоторое время, если только соседний воздух спокоен. Более того. Углекислый газ можно осторожно перелить из одного стакана в другой: лучинка будет гореть в стакане, из которого газ был вылит, и гаснуть в том, в который его перелили. Смотрящему со стороны кажется, что переливаешь «из пустого в порожнее».

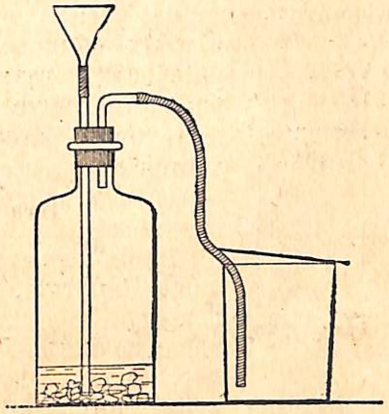


Рис. 45.

На весах не слишком грубых можно удостовериться, что склянка с углекислым газом весит несколько больше, чем с воздухом. Если «вылить» из склянки углекислый газ, продержав ее достаточно долго отверстием вниз, то вес ее станет прежним. Более точным взвешиванием нашли, что углекислый газ, наполняющий склянку, весит в $1^1/_2$ раза больше, чем воздух, наполняющий ту же склянку, другими словами, что углекислый газ в $1^1/_2$ раза тяжелее равного ему по объему воздуха.

43. Углекислый газ растворяется в воде или поглощается водою в значительно большем количестве, чем воздух, особенно тогда, когда углекислый газ сильно сжат. Вот это и бывает в шипучих водах, в которых он образуется при «брожении», а плотно закупоренная пробка не дает ему выхода. Когда он освобождается от давления, он с шипением выделяется из жидкости. Растворенный углекислый газ выделяется из воды, как и воздух, также и при нагревании.

44. Углекислый газ можно получить из известняков и накаливанием их в сильном жару («обжиганием известняков»). От

известняка остается после этого «жженая известь», которая при обливании водою вбирает ее в себя, нагревается и распадается в рыхлый порошок «гашеной извести». Прозрачный водный раствор ее называется известковой водой; ее получают, взбалтывая гашеную известь с водою и дав жидкости отстояться (она имеется и готовой в аптеках). В наших опытах известковая вода сослужит следующую службу.

Когда углекислый газ взят не сам по себе, а лишь примешан в небольшом количестве к воздуху, то его присутствия можно и не подозревать. Но с помощью известковой воды удается обнаружить даже самое малое его количество. Если пропустить чрез известковую воду хотя бы очень немного углекислого газа, то в ней появляется белый осадок углекислой извести — вещества того же состава, как известняки. Известь и углекислый газ, разъединенные накаливанием известняка, снова соединяются в одно целое.

С помощью известковой воды легко прийти к следующим замечательным выводам: 1) при горении лучины, свечи, спирта и иных обычных горючих материалов образуется углекислый газ: стоит лишь сжечь немного материала в склянке (рис. 46), чтобы не дать углекислому газу тотчас рассеяться; 2) к воздуху, который выдыхается нами, всегда примешан углекислый газ; он образуется внутри тканей нашего тела и выбрасывается наружу при выдыхании.

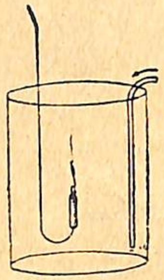


Рис. 46.

Итак, есть что-то сходное между горением и дыханием. Заметьте, что и при дыхании в нашем теле появляется теплота, как при горении. Ученые давно подметили сходство; к нему мы еще вернемся впоследствии.

Выходит кроме того, что углекислый газ должен всегда содержаться в воздухе: ведь сколько материала постоянно сжигается, сколько живых существ дышит! В самом деле, стоит только оставить известковую воду подольше на воздухе, и в ней образуется белый осадок углекислой извести.

45. Мы дышим воздухом. Можно ли дышать углекислым газом? Нет, в нем животные тотчас же задыхаются. Но это не значит, что углекислый газ ядовит или вреден: ведь мы охотно принимаем его в себя с шипучими напитками. Животные задыхаются в нем просто потому, что не могут жить без воздуха; точно также сухопутные животные захлебываются, т.-е. задыхаются в воде.

В хорошем «чистом» воздухе — в воздухе полей и лесов — углекислого газа очень мало. Но в местах, где он образуется в большом количестве (между прочим в почве при гниении) и не разносится, он может накопляться. Так как он тяжелее воздуха, то он собирается преимущественно в низких закрытых местах: в ямах, колодцах, рвах. Есть горные ущелья, в которых постоянно так много углекислого газа, что случайно забредающее туда животное издыхает. Воздух, в котором накопилось столько углекислого газа, что свеча уже гаснет, опасен для жизни. Бывали случаи, что опустившийся в колодец для его чистки не возвращался оттуда живым. Если бы только знали, что сперва надо было опустить в колодец фонарь с зажженной свечкой! Мы видим отсюда, как иногда немного надо знать, чтобы предотвратить большое несчастье.

II. Водород.

46. Положим в стеклянный цилиндрик (пробирку) несколько кусочков цинка (или железных гвоздей) и нальем немного соляной кислоты: начинается сильное шипение, и выделяющийся из пробирки газ горит (рис. 47). Этот газ называется водородом. (Выходящий из пробирки беловатый туман, как-бы дым, происходит от соляной кислоты и не имеет ничего общего с водородом.) Чтобы добыть большее количество водорода, может служить такой же точно прибор, как для получения углекислого газа (рис. 43). Вместо соляной кислоты можно брать серную. Но опыты с водородом требуют умелых рук и некоторых предосторожностей: как горючий газ он может давать в смеси с воздухом опасные взрывы. Чистый водород, наполняющий собою закупоренную склянку, не отличить от воздуха (или углекислого газа), склянка кажется «пустою». Запаха, как и чистый воздух, он не имеет. Но при обычном получении его из продажных нечистых материалов он содержит примеси неприятного запаха.

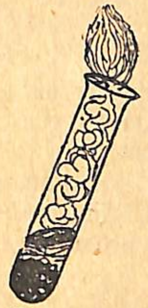


Рис. 47.

Водород замечателен своею легкостью: он в $14^1/_2$ раз легче воздуха; это самое легкое из всех известных в природе тел.

Вопросы. 1) Зная, что литр воздуха весит $1^1/_4$ грамма, найдите, сколько весит литр углекислого газа; кубический метр водорода.

Ответ: Около 2 граммов; 86 граммов.

2) Во сколько раз углекислый газ тяжелее водорода?

Ответ: Почти в 22 раза.

3) Нельзя ли, пользуясь особенностью газов, достичь того, чтобы литр водорода весил столько же, как и литр обыкновенного воздуха?

III. Кислород.

47. Не только углекислый газ и водород, но и многие другие газы «входят в состав» очень обычных материалов и могут быть из них получены, добыты, разными способами, иногда просто нагреванием. Например, очень замечательный газ получается нагреванием «бертолетовой соли», прописываемой иногда — в водном растворе — врачами для полоскания горла. Если нагреть щепотку этой соли в пробирке на спиртовой лампе и немного спустя (когда соль уже расплавится) внести внутрь тлеющую лучинку, то она ярко вспыхнет. Если концом лучинки прикоснуться к расплавленной бертолетовой соли, то произойдет ослепительно яркое горение; пробирка может при этом подплавиться (опыт лучше делать над глиняной посудиной).

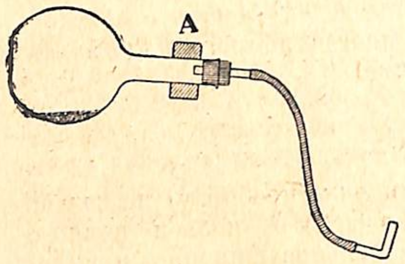
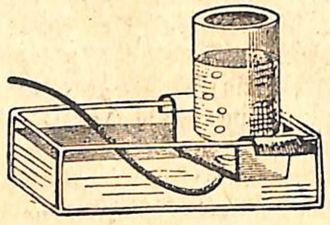


Рис. 48.

Газ, выделяющийся из бертолетовой соли при ее нагревании, называется кислородом. Он особенно интересен потому, что ему именно воздух обязан способностью поддерживать горение и дыхание.

Для добывания кислорода в большем количестве смешивают бертолетовую соль с таким же количеством чистого песку и нагревают смесь в колбе с трубкой, как показывает рис. 48 [1]). Чтобы собрать кислород в склянку, выгоняют сперва из нее воздух, наливая воды до-полна, закупоривают, опрокидывают горлом в воду и открывают под водою (рис. 49). Любопытно, что хотя горло и открыто, вода не выливается. Но если вы припомните, что окружающий нас воздух есть воздух сжатый, и что он давит на все земные предметы, то, пожалуй, это уже не покажется столь удивительным. Напор воздуха на поверхность воды в сосуде


Рис. 49.

[1]) Необходимое практическое замечание. Песок никоим образом не должен содержать горючих примесей, например, древесных опилок, обрывков бумаги, частичек угля и проч., иначе возможна небезопасная вспышка при нагревании бертолетовой соли. Наперстка соли хватит с избытком для наполнения кислородом фунтовой склянки.

именно и не дает ей выливаться. Теперь, если в горло склянки вложить конец трубки того прибора (рис. 48), из которого выходит кислород, то он мало-по-малу заменит собою воду, которая выльется наружу.

Чистый кислород так же невидим в склянке, как воздух. Ни запаха, ни вкуса он не имеет (судя по названию, можно бы, пожалуй, подумать, что он «кислый»). Выделяющийся же из бертолетовой соли кислород не вполне чист, обыкновенно слегка «задымлен» и имеет слабый посторонний запах.

Огарок свечи (укрепленный на проволоке, как выше на рис. 46) с едва лишь тлеющей светильней ярко вспыхивает в кислороде. Но спустя некоторое время пламя в склянке начнет тускнеть и погаснет: кислород расходуется на горение, удерживается горючим материалом. После того, как погаснет свеча, в склянке будет тухнуть и горящая лучинка. Вольем теперь в склянку известковой воды: по белому осадку мы тотчас обнаружим, что образовался углекислый газ.

«Обгорание» некоторых металлов с поверхности при накаливании тоже происходит вследствие присоединения к ним кислорода. Черным хрупким веществом, окалиной, покрываются полоса железа, вынутая из кузнечного горна, кочерга после размешивания горячих углей, медные предметы на огне (заметьте, что речь идет не о «копоти»). Свинец образует окалину желто-коричневого цвета, ртуть — красного, горящий магний — белого («магнезия»). В отсутствии воздуха металлы в жару не изменяются с поверхности — остаются блестящими.

48. Кислород составляет приблизительно $^1/_5$ объема воздуха, остальные $^4/_5$ состоят, главным образом, из газа, называемого азотом, который в обычных явлениях горения и дыхания не принимает участия, а только разбавляет собою кислород. Горение тел в воздухе, а также дыхание всех живых существ, сопровождается поглощением, расходованием кислорода: количество его в воздухе при этом уменьшается, так что воздух, наконец, становится для поддержания горения и дыхания негодным.

Свеча, прогорев некоторое время в замкнутом воздушном пространстве (в склянке), гаснет, после чего будет гаснуть и зажженная лучинка. Накроем зажженный огарок стеариновой свечи большой банкой, поставив ее краями на стол: свеча прогорит может быть с полминуты, но, наконец, все-таки погаснет.

Но свеча не может гореть и в том воздухе, который выдыхается легкими. Наполним этим воздухом склянку «над водой», как описано выше (при кислороде), при чем, вдувая воздух, зажмем пальцами ноздри, чтобы в рот не попало наружного воздуха.

Зажженная свеча будет гаснуть в склянке [1]). Чистый воздух полей и лесов содержит на 10000 кубических метров всего лишь 3 кубических метра углекислого газа. В воздухе жилых помещений, особенно, где скучивается много народа или горит много огней, количество углекислого газа бывает значительно больше, и воздух становится вредным для дыхания. Мы уже упоминали, что углекислый газ сам по себе безвреден; но когда воздух переполняется углекислым газом, относительное количество кислорода, необходимого для дыхания, становится, конечно, меньше. Кроме того, при дыхании и горении, вместе с углекислым газом, обыкновенно выделяются в воздух и некоторые другие вещества, иногда прямо вредные для нашего организма. На практике принято судить о мере испорченности воздуха по количеству содержащегося в нем углекислого газа [2]).

IV. Водяной пар.



Рис. 50.

49. К газообразным телам относятся также пары воды, спирта, бензина и других жидкостей; пары дают и многие твердые тела. Вода, оставленная на блюдечке, пролитая или пропитывающая мокрое белье, мало-по-малу испаряется, «высыхает», т.-е. переходит в невидимое газообразное состояние. Если в комнату внести очень холодный предмет (графин с холодной водой), то по нему снаружи осаждаются капли воды: вода берется из окружающего воздуха, который всегда содержит большую или меньшую примесь невидимого водяного пара. Запотевание оконных стекол, роса на траве — явление того же порядка.

Вот это газообразное состояние воды и есть настоящий водяной пар. Чаще всего паром неправильно называют то, что вовсе не пар, а туман, например, сероватые клубы, поднимающиеся от кипящей воды. Эти клубы состоят из мельчайших капель жидкой воды. Таковы и плавающие по небу облака. Нагреем немного воды в большой колбе (рис. 50). Когда вода станет теплою, над нею появится легкий туман.

[1]) Можно обойтись и без воды: тогда нужно, набрав в легкие побольше воздуху (и зажав ноздри), вдувать в склянку сильную и длительную струю, чтобы по возможности выгнать воздух, содержавшийся в ней раньше.

[2]) В выдыхаемом нами воздухе около 15% по объему кислорода и 4—5% углекислого газа. Наименьшее количество кислорода в воздухе, которым еще можно дышать, около 10%. Свеча гаснет, когда количество кислорода в воздухе падает ниже 16% (вместо обыкновенных 21%).

(Попутно стоит обратить внимание на выделения из воды пузырьков растворенного в ней воздуха.) Когда вода закипит, т.-е. из нее станут выходить крупные пузыри пара, свободное пространство внутри колбы снова станет как бы пустым: оно теперь содержит настоящий водяной пар—воду в газообразном состоянии. При сильном кипении еще и над отверстием колбы не видно тумана: клубы его образуются несколько выше. Если в них внести холодную тарелку, то мелкие водяные частицы собираются в более крупные капли «дождя». Частички тумана потом в воздухе снова испаряются и как бы исчезают, переходя в состояние невидимого пара. Так иногда расходится и исчезает на небе облако. Многое в этом роде вы можете заметить и за чаем, когда сильно парит самовар: выбрасываемые им струи пара у выхода почти невидимы, дальше образуют туман, а еще дальше снова исчезают для глаза. Медленно испаряется даже очень холодная вода. Над начинающей замерзать рекой или лужей, если воздух достаточно холоден, в тихую погоду стелется туман, образование которого и указывает на испарение воды при температуре ее замерзания. Но чем вода теплее, тем быстрее она испаряется. Если в морозный день открыть форточку или дверь наружу, то в комнату как бы врываются клубы тумана. На самом же деле туман образуется в самой комнате, чрез охлаждение струей холодного воздуха того пара, который содержится в комнатном воздухе. А откуда берутся туманные клубы, когда вы выдыхаете воздух в морозную погоду? Если мороз очень силен, то может случиться, что в комнате при отворенной форточке появляются снежинки. Благодаря присутствию водяного пара в воздухе, оконные стекла «обмерзают» зимою: образуются красивые узоры ледяных кристаллов. Так же происходит иней.

Пары постоянно стремятся занять больший объем, расшириться, и давят изнутри на стенки сосуда. Это давление может значительно усиливаться при кипячении воды в закрытом помещении: пар разорвет не только стеклянную колбу, если она плотно закупорена, но и железный паровой котел. Давлением горячего водяного пара приводятся в движение паровые машины.

Жидкая вода, лед, пар—наглядные примеры того, как сильно одно и то же тело может изменяться от нагревания и охлаждения. Но то же можно сказать и про множество других тел. Переход твердого тела в жидкое в таких случаях называется «плавлением» (таяние льда, воска, плавление олова, чугуна и пр.), а в газообразное—«испарением».

V. Пахучие и цветные газы и пары.

50. Есть газы и пары с сильным запахом, а также такие, которые имеют очень явственный цвет.

Легкоплавкие кристаллы *иода* при нагревании на огне в пробирке дают пар красивого темно-фиолетового цвета. Он гораздо тяжелее воздуха и при опрокидывании пробирки вытекает из нее струйкой. Он имеет всем знакомый иодный запах, но нюхать его надо осторожно. Охладившись, пробирка покрывается изнутри мельчайшими блестками—кристалликами иода; это как бы иодный иней.

Берут в пробирку несколько кристалликов (не больше, чем на кончике перочинного ножа) *бертолетовой соли*, приливают чуть *соляной кислоты* и *слегка* подогревают на спиртовой лампе, неплотно заткнув пробирку какой-нибудь негодной пробкой. Внутренность пробирки скоро окрашивается в *желто-зеленый* цвет—цвет выделяющейся смеси газов (один из них называется *хлором*). Эти газы имеют тяжелый запах и очень вредны для вдыхания,—но не в столь ничтожном количестве.

То, что есть *пахучие* газы, всем известно. Достаточно зажечь кусочек *серы*, чтобы нанюхаться вдоволь образующегося при ее горении *сернистого газа*. Вот еще пример. Смешивают по щепотке истертого в порошок *нашатыря* и *печной золы* (или, если есть, гашеной извести) и смачивают водой: выделяется газ, имеющий запах «нашатырного спирта». Нашатырный спирт (кстати сказать, вовсе не «спирт») есть именно водный раствор этого газа, называемого *аммиаком*.

Запах различных веществ происходит от того, что они более или менее испаряются легко уже при комнатной степени тепла (спирт, эфир, бензин, разные духи и пр.) или же выделяют из себя какие-нибудь легко летучие составные части (запах свежего сена, фруктов, мяса разных животных и пр.). Так как газы очень легко смешиваются с окружающим воздухом, то разные «запахи» довольно быстро распространяются от того места, где пахучий газ образуется, особенно если воздух находится в движении (что чаще всего и бывает). В некоторых случаях появление запаха служит признаком опасности, угрожающей здоровью, если газ ядовит (как, например, газ с запахом тухлого яйца, выделяющийся из выгребных ям), или целости помещения, если газ горюч и может дать взрыв (как, например, «светильный газ», упоминавшийся выше).

VI. О частичном или молекулярном строении вещества тел.

51. Выше мы не раз прибегали к слову «частицы» тел, например, говорили о различной подвижности частиц в твердых, жидких и газообразных телах. Что это за частицы? Это не малейшие крупинки или пылинки, которые можно отделить от твердого тела,

и не малейшие капельки жидкости. Под частицами или *молекулами* тел физика разумеет нечто, во многое множество раз меньшее. Для физики любое «сплошное» тело, например, железо, вода и т. п., состоит из огромного множества отдельных частиц, которые настолько малы, что их не удается видеть в сильнейшие микроскопы; но в существовании их, тем не менее, нельзя сомневаться [1]).

Молекулы находятся в *непрерывном движении*. Они не вполне свободны одна от другой, а чем-то взаимно удерживаются и поэтому связаны в одно целое—в то, что мы называем «телом». — Причина, связывающая молекулы тела, называется «молекулярным притяжением» или «сцеплением». Что это за причина или сила, так же мало известно, как то, что такое сила тяжести (см. § 6); но надо же дать ей название. Всего свободнее движутся частицы *газов*: каждая молекула газа несется прямолинейно, с большой быстротою, пока не столкнется с другой молекулой. *Давление* газа на стенки сосуда объясняется непрерывными ударами частиц о стенки—как бы непрерывной «бомбардировкой» их газовыми частицами. Частицы газа, не сдерживаемые какою-либо преградою или ударами других частиц, быстро разлетаются в стороны: газ распространяется на больший объем [2]).

Прикасаясь к нагретому телу, мы получаем особое тепловое ощущение: это именно действие молекулярного движения на наши кожные нервы. «Нагревание» и «охлаждение» тела для физика состоит в усилении и ослаблении движения молекул, с чем связано то, в каком состоянии будет находиться тело—твердом, жидком или газообразном: чем выше температура, тем подвижнее, тем свободнее одна от другой становятся частицы тела.

52. Молекулярное движение сказывается, между прочим, в том, что *частицы взаимно соприкасающихся тел способны сами собою проникать из одного в другое*, взаимно смешиваться. Наиболее быстро смешиваются, таким образом, *газы*. Известно, как легко распространяется в воздухе какой-нибудь пахучий газ. Этому, правда, способствует постоянное передвижение самого воздуха; но распространение одного газа в другом происходит и само собою, без постороннего перемешивания. Например, если наполнить газоприемный цилиндр угле-

[1]) Слово «молекула» обозначает (с латинского) «малую частицу» вещества.

[2]) О малости молекул трудно дать сколько-нибудь наглядное понятие. Им приписывают размеры, близкие к одной десятимиллионной миллиметра: на толщину головного волоса человека их уложилось бы рядом сотни тысяч. В капле воды заключается около 27 триллионов (27 с 18 нулями) молекул.

кислым газом и опрокинуть над ним такой же цилиндр с воздухом (рис. 51), то по истечении некоторого времени газы смешаются, несмотря на то, что углекислый газ, находившийся внизу, в $1^1/_2$ раза тяжелее воздуха. Смешение произошло бы и в том случае, если бы верхний цилиндр был наполнен водородом, который в 22 раза легче углекислого газа. Такое самопроизвольное проникновение одного тела в другое называется диффузией. Газы более или менее быстро смешиваются и сквозь пористую стенку, притом, чем газ легче, тем быстрее он проникает сквозь такую стенку; быстрее всех проникает самый легкий из газов,—водород.

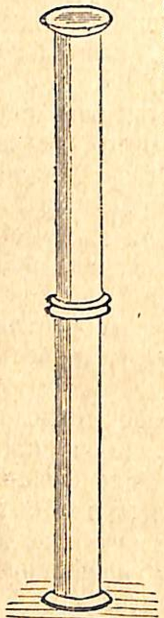


Рис. 51.

Мы уже видели, что воздух есть смесь нескольких газов. Проникая (диффундируя) друг в друга, они образуют весьма сложное целое, имеющее близ земной поверхности повсюду почти одинаковый состав.

Многие жидкости тоже способны взаимно диффундировать, т.-е. проникать друг в друга и смешиваться в одно целое, вопреки различиям в плотности. Таковы, например, вода и винный спирт. Но диффузия жидкостей происходит гораздо медленнее, чем газов.

Подобное же явление, хотя происходящее еще гораздо медленнее, обнаружено и в твердых телах. Так, если некоторые металлы находятся долгое время в тесном соприкосновении, то частицы одного проникают внутрь другого: два металлических куска прочно соединяются или срастаются в один.

53. Надо еще прибавить, что молекулы в свою очередь сложены из еще меньших частиц, которые называются атомами. Слово «атом» с греческого значит «неделимый». Еще не так давно атомы действительно считались неделимыми, даже, так сказать, последними или конечными частицами вещества. Но и атом оказался чем-то сложным, и притом очень сложным... И вас, пожалуй, очень удивит, если сказать, из чего он сложен. Главным — если не всем — «строительным материалом» атома являются малейшие частицы электричества! Но об электричестве мы будем говорить гораздо дальше.

VII. Обзор и добавления.

54. Углекислый газ образуется при горении и дыхании, выделяется из шипучих напитков и многих минеральных вод, получается из некоторых известняков накаливанием и действием соляной кислоты. Он не поддерживает горения обычных горючих материалов, тяжелее воздуха в $1^1/_2$ раза, и мутит известковую воду, в которой дает белый осадок углекислой извести (из нее именно и состоят известняки в роде мела, мрамора или серого тротуарного плитняка и пр.).

Водород может быть получен из соляной или серной кислоты действием цинка. Это горючий и очень легкий газ— самое легкое из всех известных в природе тел.

Кислород можно получить нагреванием (разложением) бертолетовой соли. Он усиливает горение тел, способных гореть в воздухе, и есть именно деятельная составная часть воздуха, в котором он разбавлен (считая округленно) вчетверо большим объемом азота.

Есть газы с сильным запахом и такие, которые имеют явственный цвет. Но, даже будучи невидимыми и неощутимыми (когда они в покое), газы могут тем не менее отличаться друг от друга многими свойствами.

При освещении солнечными лучами можно видеть на белой бумаге явственные тени от струек газов и паров (в § 27 уже упоминалось о тенях нагретого воздуха).

Струйка углекислого газа, выходящего из прибора, дает очень заметную полоску. Красивые волнующиеся тени получаются от паров бензина и эфира, если налить немного жидкости на руку и дать ей испариться; видно, как тяжелые газы падают книзу.

Отличительная особенность газов — их постоянное стремление расширяться, стремление занять как можно больший объем. Газ всегда давит изнутри на стенки заключающего его сосуда. Самое знакомство с газами едва ли было-бы возможно, если бы повсеместное на земле присутствие воздуха не замедляло их расширения: не будь воздуха, каждый выделившийся новый газ тотчас разносился бы в стороны на далекое пространство.

Газы чрезвычайно легко смешиваются между собою и проникают сквозь малейшие отверстия. Поэтому сохранять газы сколько-нибудь продолжительное время можно лишь в совершенно непроницаемых для них оболочках или плотно закупоренных сосудах.

Тела состоят из мельчайших частиц, молекул, находящихся в непрерывном движении, которое усиливается с повышением температуры и ослабляется с понижением ее. Всего быстрее движутся частицы газов. То или иное «состояние» тела зависит от быстроты движения молекул и от того, в какой мере этим движением ослаблено взаимное частичное притяжение, сцепление. Молекулы состоят из еще меньших частиц — атомов, — которые по современным взглядам тоже представляют из себя нечто сложное.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

О тяжести тел.

I. Как тела взвешиваются.

55. О тяжести или «силе тяжести» мы уже кое-что узнали выше (§§ 6—8). Взвешивая тело, мы сравниваем его вес с некоторым другим весом, принятым за единицу. Например, то, что ведро «весит» 30 фунтов, значит только, что оно весит в 30 раз больше, чем привычная нам фунтовая гиря. Сравнение веса делается помощью приборов, называемых весами. Но прежде всего условимся относительно единиц веса. Мы обычно будем пользоваться метрической десятичной системой мер. В ней весовой единицей служит грамм (сокращенно *г*), который делится на 10 дециграммов, 100 сантиграммов, 1000 миллиграммов; 1000 граммов составляет килограмм (*кг*), а 1000 килограммов — тонну. На наш фунт приходится круглым счетом 410 граммов, так что грамм — почти $^1/_4$ золотника. Вас удивит, что есть еще какие-то миллиграммы, которые, следовательно, в 4000 раз легче золотника. Но мы ведь привыкли судить по обычному довольно грубому взвешиванию. При исследовании же явлений природы бывает нужно взвешивание гораздо более точное, при котором и миллиграмм окажется слишком тяжелым. Килограмм можно считать за $2^1/_2$ фунта (на самом деле немного меньше), так что на пуд придется 16 *кг*; тонна равна 61 пуду [1]. На рис. 52 изображен латунный килограмм в настоящую величину.

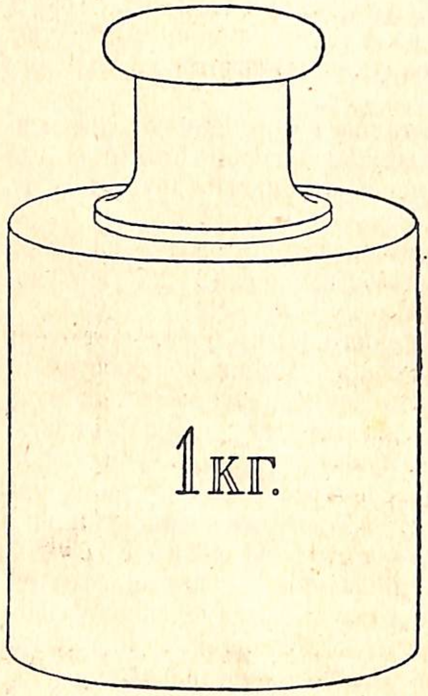


Рис. 52.

56. Весовые единицы метрической системы, кроме того, что они десятичные, имеют еще следующее удобство. Гирька, называемая граммом, весит столько, сколько весит 1 кубический сантиметр воды; говоря короче, грамм есть вес одного кубического сантиметра воды. Килограмм же равняется весу 1 куб. дециметра или литра воды, так как 1 куб. $=10\times10\times10$ *см*^{3} $=1000$ *см*^{3}. Не таков наш фунт: нужно взять не 1, а *25* кубических дюймов воды, чтобы вес ее равнялся фунту; число 25 вносит в расчеты некоторые усложнения, которых нет в метрической системе [1].

[1]) См. справочную таблицу перевода мер в начале книги.

Положим, вы отмерили мензуркой 100 *см*^{3} воды: отмеренная вода весит столько же граммов, следовательно, вы нашли вес воды, не прибегая к весам. Или, положим, вы измерили литровым сосудом (есть, например, литровые кружки) воду, вмещающуюся в нашей объемной мере, называемой ведром, и нашли $12^1/_2$ литров; это значит, что ведро воды весит $12^1/_2$ килограммов. Ведро, как известно, содержит 750 кубических дюймов; чтобы узнать, сколько фунтов весит ведро воды, пришлось бы разделить 750 на 25 (так как 25 кубических дюймов воды весят 1 фунт), т.-е. произвести арифметическое действие, в котором при метрической системе нет надобности.

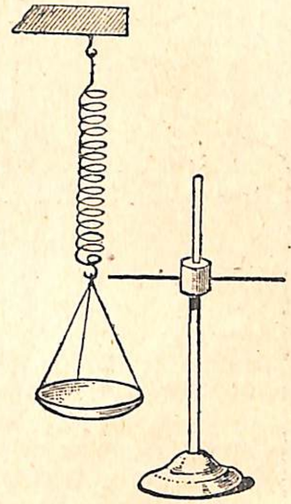


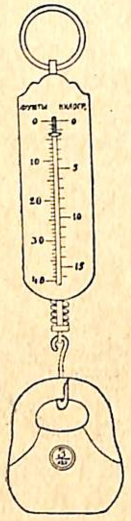
Рис. 53.

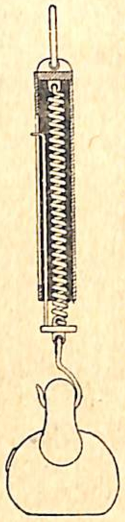
Наоборот, если хотите узнать вместимость какой-нибудь склянки, а у вас нет мензурки, взвесьте воду, наполняющую склянку: в склянке будет столько куб. сантиметров, сколько граммов весит вода, или столько литров, сколько она весит килограммов. Но если вы знаете, что ведро воды весит 30 фунт. и хотите узнать, сколько кубических дюймов занимает эта вода, то вам опять пришлось бы прибегнуть к арифметике, именно умножить 30 на 25. Каждый, конечно, избегает лишних вычислений: ведь они неудобы еще и тем, что дают повод к ошибкам. Но только тот вполне оценит удобство метрических мер сравнительно со всеми другими, кто, путем упражнений, к ним несколько привыкнет.

57. Чтобы взвесить тело, т.-е. сравнить его вес с весом гирь, можно поступить так. Подвесим пружинку (или даже резиновую тесемку) к неподвижной подставке, а к ней—горизонталь-

[1]) При установке названных единиц вводятся еще добавочные условия относительно того, при скольких градусах по термометру брать воду. Но об этом впоследствии.

ную дощечку или крышку от коробки (рис. 53). Положим взвешиваемую вещь на дощечку и отметим подвижным указателем, насколько растянулась пружина. Сняв вещь, *заменим* ее стольkими гирьками, чтобы пружина растянулась попрежнему. Пусть, например, пришлось положить 150 граммов; значит, *вес вещи равен весу 150 граммовых гирек* или, как говорят для краткости, вещь весит 150 граммов. Вместо грамма мы можем принять *за единицу вес килограммовой гири*: вес нашей вещи составляет $^{150}/_{1000}$, или $^{3}/_{20}$ веса килограммовой гири, т.-е., говоря короче, вещь весит $^{3}/_{20}$ килограмма.


Рис. 54.


Рис. 55.

Пружинный безмен.

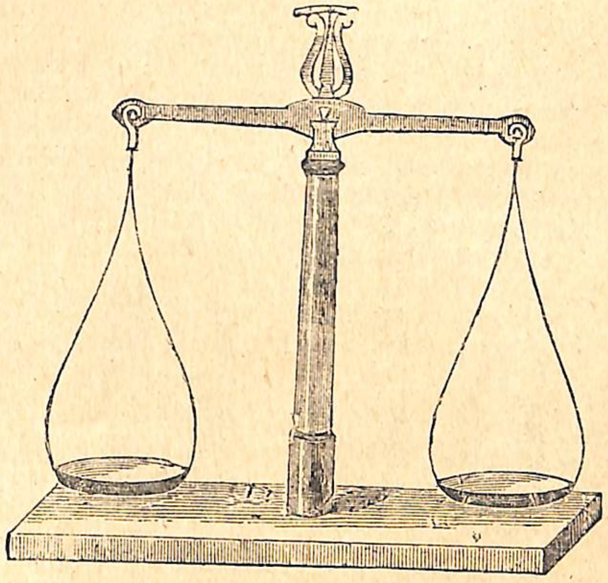
Для взвешивания мы воспользовались упругостью пружины (резины). Всем известные пружинные весы (пружинный безмен) основаны на том же; только пружина находится внутри трубки. Смотря по устройству, она или растягивается, или сжимается подвешенным грузом (рис. 54 и 55); на «шкале» весов нанесены деления, по которым в первом случае передвигается указатель шпенек, прикрепленный к пружине, а во втором самая трубка. Вот как наносятся эти деления. Если весы назначаются, положим, на 40 ф., то, пометив чертою «нулевую» точку пустых весов, подвешивают 40-фунтовую гирю: точку, на которую покажет шпенек, помечают числом 40, потом расстояние между 0 и 40 делят на 40 равных частей. Таким образом, гири при взвешивании уже не нужны.

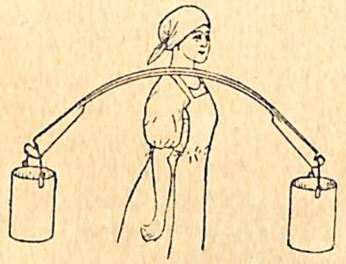
II. Весы с коромыслом (рычажные весы).

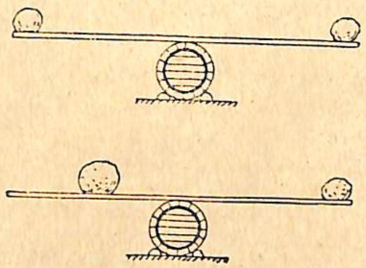
58. Рассмотрим ближе *весы с коромыслом и чашками* (рис. 56). Взглянув вокруг, их можно увидеть там, где, пожалуй, и не ожидаешь. Когда кто-нибудь несет ведра с водою одинакового веса на коромысле, подпирая его посередине плечом (рис. 57), тогда одно ведро уравновешивает другое. Чем это не весы? Только на настоящих весах коромысло гораздо подвижнее, и можно много точнее уравнять или «уравновесить» два груза. На любимых всеми качелях, состоящих из подпертой посредине доски, хорошо можно подметить более общее условие, при котором два помещенных на нее груза взаимно уравновешиваются. *Равные* грузы должны помещаться на *одинаковых*

расстояниях от опоры (рис. 58); в случаях неравных — *больший* груз непременно должен быть к ней *ближе*.

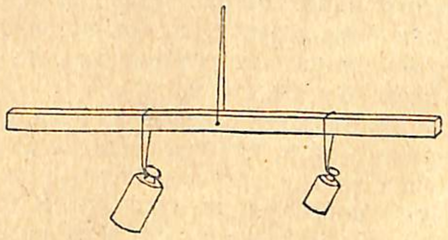
Всякая доска или палка, которая может поворачиваться около одного подпертого места, около «оси опоры» (говорят также «точки опоры»), есть то, что вообще называется *рычагом*. Чтобы лучше ознакомиться с его замечательными свойствами, возьмем деревянный брусок, подвешенный за середину на веревочку (рис. 59).


Рис. 56. Весы с коромыслом.


Рис. 57.


Рис. 58.

Если обе половины бруска во всех отношениях одинаковы, то он сам по себе—без всякой *нагрузки* — устанавливается горизонтально: ни та, ни другая половина не перевешивает. Это положение бруска мы будем называть *положением равновесия*. Рас-


Рис. 59.

стояния от точек привеса грузов до «оси» вращения или опоры называются плечами рычага.

Подвесим две одинаковые гирьки, например, на равных расстояниях от оси: брусок после нескольких качаний снова придет в горизонтальное или почти горизонтальное положение; малейшее перемещение одной из гирек в ту или другую сторону выводит его из этого положения в новое, и он остается более или менее наклоненным. Чтобы уравновесить между собою два неодинаковых груза, придется меньший подвесить дальше от оси

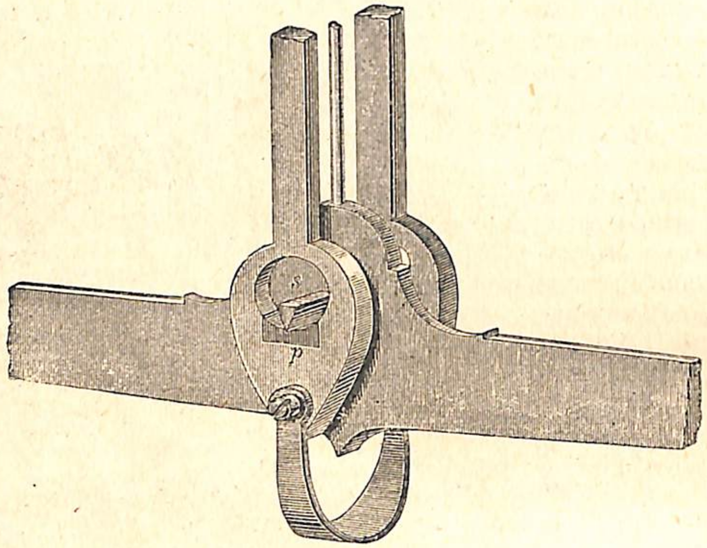


Рис. 60.
Коромысло опирается на подставку p из стали при помощи острого стального лезвея (призмы) s, около которого она может поворачиваться, как около оси.

(рис. 59). Итак, если брусок с грузами, подвешенными на равных расстояниях от оси, устанавливается горизонтально, т.-е. так же, как без нагрузки, то оба груза равны; если же грузы висят при этом на разных расстояниях, то тот из них больше, который висит ближе к оси.

Более точные опыты показали бы, что при равновесии на рычаге груз, действующий на более длинное плечо, во столько раз меньше груза, действующего на более короткое, во сколько раз первое длиннее второго. В словах: «во столько раз, во сколько» и заключается закон равновесия на рычаге, а не в том, что больший груз можно уравновесить меньшим (это-то общеизвестно).

59. Теперь вы видите, что коромысло весов, изображенных на рисунке 56, не что иное, как равноплечий рычаг. Устройство весов в подробностях видно из рис. 60 и рис. 61. Как обе половины коромысла, так и чашки, имеют одинаковый вес. Когда чашки пусты или на них лежат тела одинакового веса, коромысло верных весов устанавливается горизонтально, а приделанная перпендикулярно к ним стрелка—вертикально. Это положение коромысла и принято считать «положением равновесия». Две одинакового веса гири, положенные на чашки верных весов, взаимно уравновешиваются, и равновесие не нарушится, если переложить гири с одной чашки на другую. В случае верных весов именно безразлично, на которой из чашек лежит груз, потому что обе половины весов, вправо и влево от опорного лезвея, одинаковы по размерам и весу.

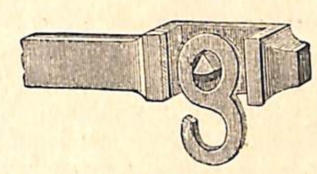


Рис. 61.
Призмы, на которые надеты крючки с чашками, расположены на равных расстояниях от средней призмы.

60. Разные весы этого рода чрезвычайно отличны друг от друга по качествам — в зависимости от того, для какой цели назначены. Чем они тщательнее сработаны, тем они чувствительнее, т.-е. тем меньший излишек (перегрузок) надо положить на одну из чашек, чтобы коромысло вышло из горизонтального положения. На малых торговых весах, если на чашках уже лежит по 200 г, т.-е. по $^1/_2$ фунта, для заметного отклонения придется прибавить на одну из чашек 2—3 дециграмма (зажигательную спичку), а иногда и полграмма. «Ручные аптекарские» весы значительно чувствительнее. Весы, употребляемые в химических лабораториях, обыкновенно уже при нагрузке по 100 граммов ($^1/_4$ фунта) на каждую чашку покажут перегрузок в один миллиграмм, а весы подороже и десятую долю миллиграмма: это составляет всего одну миллионную лежащего на чашке груза. Весы, употребляемые для научных исследований, еще гораздо чувствительнее. Немудрено, что исследователь природы замечает в телах малейшие изменения, которые для нашего житейского наблюдения просто-таки не существуют...

61. Вопрос. Как при взвешивании жидкости или сыпучего тела обойтись без предварительного взвешивания сосуда?

Сперва тарируют сосуд, т.-е. насыпают в стаканчик на другой чашке дроби или песку до равновесия [1]).

[1]) «Тарою» вообще называется вес вместилища: например, тара, обозначенная на жел.-дор. вагоне, обыкновенно 400—600 пудов, есть вес самого вагона.

III. Как узнать вес тела (вычислением), не кладя его на весы.

62. Чтобы найти, сколько весит сорокаведерная бочка воды, нет надобности воду взвешивать на весах. Известно, что ведро воды весит 30 фун., или $^{3}/_{4}$ пуда; следовательно, сорок ведер будут весить $^{3}/_{4} \times 40$ пудов или 30 пудов.

Положим, водою наполнен прямоугольный ящик, которого длина 5 дюйм., ширина 4 дюйм., высота 3 дюйм., следовательно, вместимость 60 куб. дюйм. Наш фунт, как сказано выше, есть вес 25-ти куб. дюйм. воды, следовательно, 1 куб. дюйм. воды весит $^{1}/_{25}$ ф. Поэтому наполняющая ящик вода будет весить $^{1}/_{25} \times 60$ ф. $= {}^{12}/_{5}$ ф., или 2 $^{2}/_{5}$ фунта. Конечно, было бы удобнее, если бы за фунт считался именно вес одного куб. дюйма воды, а не 25-ти; вода в ящике весила бы 60 таких фунтов. Вот это удобство и имелось в виду при установке метрических единиц веса. Если вода наполняет ящик, размеры которого 5 *см*, 4 *см* и 3 *см*, то она занимает объем в 60 *см*^{3} и весит как раз 60 граммов; 60 кубических дециметров или 60 литров воды весили бы 60 килограммов. Дело выходит гораздо проще.

Положим теперь, что прямоугольное тело тех же размеров ч у г у н н о е. Чугун в семь раз тяжелее воды, взятой в одинаковом объеме. Следовательно, чугунное тело в 60 *см*^{3} будет весить 60×7 *г*, или 420 *г*. Такая же деревяшка из сухого соснового дерева, которое вдвое легче воды, весила бы $60 : 2 = 30$ *г*.

Итак, можно вычислить вес тела, не кладя его на весы. Для этого надо знать его объем — число содержащихся в нем кубических единиц — и во сколько раз его материал тяжелее или легче равного объема воды.

Решим еще несколько примеров.

1. Сколько весит вода в прямоугольном аквариуме, длина которого 70 *см*, ширина 35 *см*, а высота воды 25 *см*. Объем воды — $70 \times 35 \times 25$ куб. *см* $= 61250$ *см*^{3}; следовательно, вес столько же граммов, или 61,25 *кг*. Чтобы перейти, если нужно, к пудам, делим на 16 (см. таблицу для перевода мер).

2. Сколько надо железнодорожных товарных платформ, чтобы свезти одну куб. саж. кирпича? Вы, конечно, видели на товарных вагонах такую например, надпись: «груз 600 пудов; это значит, что больше 600 пудов нельзя нагружать в вагоны. Найдем сперва вес 1 куб. саж. воды, а потом и кирпича. Куб. саж. равняется примерно 9,7 куб. метр. Куб. метр воды весит 1000 *кг* (тонна); следовательно, куб. саж. воды весит $1000 \times 9{,}7 = 9700$ *кг*. Так как материал кирпича вдвое тяжелее

воды в одинаковом объеме, то кубическая сажень кирпича будет весить 9700×2 *кг* $= 19400$ *кг* $= 19{,}4$ тонны, что в пудах составит $19{,}4 \times 61$ пуд $= 1183$ пуда. Значит, для нагрузки потребуется две платформы.

3. Положим еще, что баржа длиною 45 метров и шириною 12 метров нагружена песком на $1^{1}/_{2}$ метра высоты. Сколько весит песок, если он (круглым счетом) в $1^{1}/_{2}$ раза тяжелее воды? Баржу можно считать за прямоугольный ящик, объем которого будет равен $45 \times 12 \times 1^{1}/_{2}$ кубических метра $= 810$ кубических метров. Вес воды такого объема, как песок, будет 810 тонн или 810×61 пуд. $= 50000$ пуд. (приблизительно), а вес песку 75000 пудов. Следовательно, для нагрузки его в вагоны по 600 пудов понадобилось бы 125 вагонов, т.-е. пять поездов по 25 вагонов каждый.

Исследователю природы и технику приходится иногда задаваться вопросом о весе какой-нибудь скалы. Объем ее, как неправильный, можно найти лишь грубо, приблизительно, но хотя бы она весила и многие миллионы пудов, все же можно составить себе некоторое понятие о ее весе, если определить, во сколько раз ее материал тяжелее воды в равном объеме.

IV. Сравнить вес какого-нибудь материала и воды в одинаковом объеме.

63. Чтобы узнать, во сколько раз данный материал тяжелее или легче воды, надо, конечно, взвесить этот материал и такой же точно объем воды. Возьмем сперва несколько материалов, которые тяжелее воды: стекло, чугун, песок и соляной раствор.

1) Взвесив кусок обыкновенного б у т ы л о ч н о г о стекла, положим, мы нашли 125 граммов. Чтобы отмерить равный объем воды, воспользуемся кружкой с отливной трубкой (рис. 41). Вытесненную в стакан воду тоже взвешиваем и находим 50 граммов. Следовательно, стекло тяжелее равного объема воды в $125 : 50$, или в $2^{1}/_{2}$ раза. (Для простоты числа взяты округленные, что везде делается и дальше.)

2) Возьмем фунтовую ч у г у н н у ю гирю. Ее можно и не взвешивать граммами, так как известно, что один фунт равняется 410 граммов. Определим вытеснением вес равного объема воды: он будет $58^{1}/_{2}$ *г*. Следовательно, чугун этого сорта в семь раз тяжелее воды.

3) Наполним чистым (кварцевым) п е с к о м скляночку до начала горла, хорошенько утряхивая, и взвесим (как обойтись без взвешивания самой склянки?). Потом вместо песку нальем воды до начала горла и взвесим воду. Разделив вес песку на вес

воды, найдем $1\frac{1}{2}$ или немного больше (1,6). Это значит, например, что ведро песку будет весить 45 фунтов, так как ведро воды весит 30 фунтов.

4) Наконец возьмем насыщенный раствор обыкновенной соли (например, раствор, который мог остаться от кристаллизации соли). Пусть наша склянка вмещает до пометки на горле 50 г воды; насыщенный раствор соли в том же объеме будет весить 60 г. Следовательно, он в 60 : 50, или в $1\frac{1}{5}$ раза тяжелее воды равного объема. Ведро насыщенного соляного раствора весило бы 36 фунтов. Морская вода (вода океанов), хотя и очень солона, содержит гораздо меньше соли, чем насыщенный раствор (именно около $3\frac{1}{2}\%$), но она все же несколько тяжелее пресной: отношение ее веса к весу пресной воды выражается числом 1,03. Сколько весит ведро такой воды?

64. Если материал легче воды то вода в равном объеме будет весить больше него, например, легкого сорта сосновое дерево (сухое) вдвое легче воды: если кусок такого дерева весит 100 г, то равный объем воды 200 г. Но можно сказать и так: вес соснового дерева составляет половину веса воды равного объема. В физике и практикой предпочитается именно последнее выражение. Другой пример. Если склянка вмещает до пометки на горле 50 г воды, то она вместит до той же пометки 40 г чистого винного спирта. По только-что принятому мы скажем: вес спирта составляет $\frac{4}{5}$ веса воды равного объема. Ведро спирта весило бы $30 \times \frac{4}{5} = 24$ фунта. При таком способе выражения веса по сравнению с водою приходится во всяком случае делить вес материала на вес воды равного объема — будь материал тяжелее или легче воды.

65. Возьмем отдельные примеры.

1) Чтобы сделать определение для дерева, взвешивают деревяшку и погружают ее в кружку с водою насильственно, воткнув в нее острие булавки или тонкого шила. Затем делят вес дерева на вес вытесненной воды. Для обычных сортов дерева выходят не одинаковые числа: несколько больше половины (тяжелая сосна, береза, дуб) и несколько меньше половины (липа, тополь). Дерево предполагается сухое. Черное дерево настоящее немного тяжелее воды (в воде тонет), а поддельное — легче (плавает). Вес пробки (кора пробкового дуба) составляет обыкновенно не более $\frac{1}{5}$ веса равного объема воды.

2) Винный спирт взвешивают точно так же, как выше соляной раствор. Как и прежде, вес спирта делят на вес воды.

Для сравнения веса жидкостей с весом воды удобно вливать их и прямо в цилиндр с делениями на кубические сантиметры; воду взвешивать не придется (почему?).

3) Интересно узнать, во сколько раз тяжелее воды ртуть, самая тяжелая из обычных жидкостей. Для этого возьмем маленькую колбочку, вместимость которой, включая выходной канал (рис. 62), равна 10 *см*³. Взвесив ртуть и разделив на 10, найдем около $13\frac{1}{2}$. Узнайте вычислением, сможете ли вы поднять графин со ртутью вместимостью в 5 бутылок (бутылка равняется $\frac{1}{20}$ ведра)?

4) С твердым материалом часто тоже можно обойтись без взвешивания воды. Берут его в виде прямоугольного куска, определяют его объем измерением длины, ширины и толщины, а потом кусок взвешивают. Число кубических сантиметров, заключающихся в объеме взятого тела, прямо даст вес равного объема воды в граммах. Остается разделить вес тела на найденное число кубических сантиметров. Положим, например, что прямоугольная березовая дощечка, длиною и шириною по 10 см, толщиною 2 *см*, весит 120 *г*. Так как объем дощечки 200 *см*³, то, следовательно, вода в этом объеме весила бы 200 г. Итак, вес березы составляет $\frac{120}{200}$, или $\frac{3}{5}$ веса равного объема воды.

5) *Лед* легче воды — оттого он на ней и плавает. Из льда можно вырезать пилою прямоугольный кусок, объем которого в кубических сантиметрах найти по линейным размерам. Взвесив лед, найдем, что его вес составляет $\frac{9}{10}$ веса равного объема воды. Сколько весил бы ледяной столб, который вплотную входит в ведро? Ответ: 27 фунтов.



Рис. 62. Колбочка (пикнометр) для взвешивания ртути и др. жидкостей.

66. Вот округленные числа, которыми выражается отношение веса некоторых материалов к весу равного объема воды.

Вес пробки составляет $\frac{1}{5}$ (0,2) веса равного объема воды (другими словами, пробка в 5 раз легче воды), сухого соснового дерева $\frac{1}{2}$ (0,5), льда $\frac{9}{10}$ (0,9).

Черенковая сера в 2 раза тяжелее воды, обыкновенное стекло в 2,5, алюминий в 2, чугун в 7, железо в 8, медь (литая) в 9, свинец в 11, золото в 19, плющенная платина в 22 раза. Из жидкостей вес безводного винного спирта составляет $\frac{4}{5}$ (0,8) веса воды в равном объеме; насыщенный соляной раствор тяжелее воды в 1,2 раза, вода океанов в 1,03, крепкая серная кислота в 1,8, а ртуть в $13\frac{1}{2}$ раза, точнее, в 13,6 раза, если она охлаждена до 0°, т.-е. до точки таяния льда.

Числа, найденные, как сказано, через сравнение веса материала с весом равного объема воды — через деление первого на второй, даются в справочных таблицах под назва-

нием относительной плотности или чаще удельного веса материалов. Обратите внимание еще на пояснительный рисунок[1]) (рис. 63).

67. Полезно иметь в виду, что при решении числовых вопросов в первоначальном курсе нет нужды гнаться за точностью: ведь и на практике сперва прикидывают, а потом уже, если нужно, измеряют и вычисляют поточнее. Хорошо научиться вычислять так, чтобы делать как можно меньше лишних действий. Для этого большей частью можно совсем отбрасывать такие доли чисел, которые малы сравнительно со всем числом. В житейской практике при измерении длины в один аршин обыкновенно уже не принимают в расчет величины меньше $1/8$ вершка, которая соста-

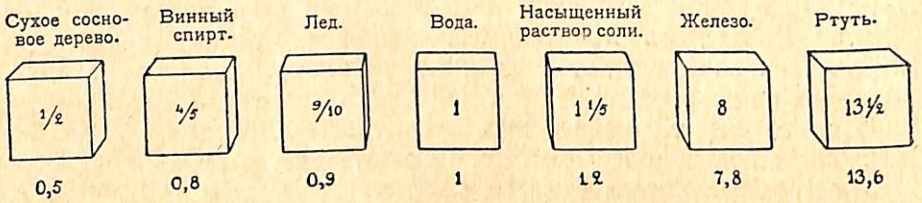


Рис. 63. Кубический сантиметр каждого из этих материалов весит столько граммов, сколько написано на грани (внизу для железа и ртути даны более точные числа). Те же числа выражают отношение веса каждого из материалов к весу одинакового объема воды—его «относительную плотность» (удельный вес).

вляет $1/128$ аршина, а при определении веса в 1 фунт — величины меньше золотника ($1/96$ фунта). Придерживаясь десятичных подразделений (как в метрических мерах), можно вообще сказать, что в повседневной жизни при обычной технике не жалеют отбрасывать величину, если она составляет $1/100$ измеряемой, — как копейка при рубле — или меньше; в сравнительно немногих случаях дорожат тысячными долями и лишь очень редко идут далее

[1]) Надо заметить, что числа для материалов, *носящих одно и то же название*, обыкновенно не бывают одинаковы, а различаются смотря по сорту материала. Например, обыкновенное стекло бывает разного изготовления (разного состава) и по сравнению с водою может иметь вес 2,4—2,6 (есть еще особенные сорта стекла гораздо более тяжелые). Вес многих металлов весьма заметно изменяется от способа их обработки (ковки, литья), от степени чистоты и пр. Для чугуна, например, в подробных таблицах даются числа 7—7,7, для меди 8,5 — 8,9. Но округленными числами приходится пользоваться всего чаще — как при первом знакомстве с физикой, так и на практике. Тщательное определение относительной плотности часто дает возможность решить: имеется ли в руках тот именно материал, который нужен. К такому приему приходится прибегать, например, при определении достоинства керосина (состоящего из смеси многих горючих жидкостей), крепости винного спирта (смесь безводного винного спирта с водою), при определении годности молока, при распознавании минералов и пр.

этого. При решении числовых вопросов следует принимать во внимание эти практические правила — как при самом измерении, так и при вычислениях, в частности, например, при переводе метрических мер на русские и наоборот. Десятичных дробей никоим образом не следует избегать,—надо, напротив, пользоваться всяким случаем, чтобы приобретать навык в обращении с ними.

1) Во сколько раз ртуть (удельный вес — 13,6) тяжелее винного спирта? Ответ: В 17. — Во сколько раз платина, один из самых тяжелых материалов (плющенная платина 22), тяжелее пробки, одного из самых легких (легкий сорт пробки 0,15). Ответ: Почти в 150 раз.

2) Сколько весила бы чугунная доска таких размеров, как крышка небольшого письменного стола, положим длины 160 *см*, толщины 2,5 *см*, ширины 81 *см*.—Решение: Объем доски $160 \times 81 \times 2,5$ *см*,--32400 *см*³. Следовательно, вода весила бы столько же граммов, а чугун в 7 раз больше. Разделив на 1000, получим вес в килограммах. Чтобы перевести в пуды, разделим на 16 (см. таблицу). Найдем 14 пуд. слишком.

3) Большое зеркальное стекло из тех, какие бывают в окнах городских магазинов, положим, имеет длину 4 метра, ширину 3 метра, толщину 1 *см*. Сколько человек могли бы нести такое стекло, считая на каждого по 4 пуда? Для веса стекла, сравнительно с водою (удельного веса), взять число 2,6.—Решение: Выразить линейные размеры в сантиметрах, отсюда — объем куб. сантиметров, найдя вес в граммах, перевести в килограммы, а отсюда в пуды, деля на 16. Выйдет немного меньше 20 пудов.

4) Сколько весит сосновая крышка того же письменного стола, как в предыдущем вопросе?—Решение: Вес воды вычисляется попрежнему. Материал сосны легче воды — вес его сравнительно с водою выражается правильной дробью, именно $1/2$. Непривычный возьмет и разделит вес воды наполовину. Но ведь вес дерева составляет половину веса воды равного объема: а взять половину числа—значит, по правилам арифметики, умножить число на $1/2$ (в настоящем случае это то же, что разделить на 2). Сделав это, найдем 16,2 *кг* или, округленно, 1 пуд.

5) Взглянув на числа 7 для чугуна и $1/2$ для соснового дерева, нельзя ли вперед сказать, сколько будет весить чугунная доска, если таких же размеров сосновая весит 1 пуд? Сколько чугуна пойдет для отливки вещи, если сосновая модель ее весит 5 килограммов?

6) Лошадь везет две прямоугольных ледяных глыбы длиною в 1 метр, шириною и толщиною по $1/2$ метра. Как велика нагрузка саней? Решение: — Объем каждой глыбы $1 \times 1/2 \times 1/2 = 1/4$ куб.

*

метра. Кубический метр воды весит 1 тонну, следовательно, льду 0,9 тонны, или 54 пуда (считая тонну за 60 пудов). Итак, нагрузка 27 пудов.

7) Сколько пудов нефти вместит баржа при тех размерах наливного бака (ящика), которые даны в последнем примере и при той же глубине жидкости (нефть—минеральное масло, из которого гонится керосин; вес сравнительно с водой принят 0,85). — Ответ: 42500 пудов, если вес воды считать округленно в 50000 пудов.

8) Александровская колонна в Ленинграде (колонна без фундамента и верха) имеет 285 метров вышины и средний поперечник 4 метра (она несколько суживается кверху). — По правилам геометрии, легко вычислить ее объем: 350 кубических метров (приблизительно). Сколько весит колонна, если ее гранит в 2,6 раз тяжелее воды (вес тонны считать в 60 пудов). Ответ: 55.000 пуд. (приблизительно). Конечно, такую громадину не положишь ни на какие весы, а между тем для знающего геометрию вычислить вес колонны, который нужно было, например, знать, прежде чем поднимать ее машинами — дело нескольких минут.

V. Об измерении сил весовыми единицами.

68. Взвешивая тело, мы узнаем, во сколько раз его вес больше веса некоторого другого тела, называемого гирею, или какую долю веса гири он составляет: вес гири принимают за единицу сравнения. Другими словами, мы сравниваем величину силы, влекущей данное тело отвесно вниз, с силою, действующею таким же образом на гирю. Но можно и другие силы сравнивать с весом гири — измерять силы весовыми единицами. Стоит лишь найти, каким весом уравновешивается сила, или какой вес она может собою заменить. Например, пробуя удержать неподвижно вытянутою вниз рукою тот или иной груз (то или иное число фунтов или килограммов), мы находим силу тяги вверх, производимой нашими мышцами. Чтобы найти силу тяги в другом направлении, например, горизонтальном, можно тянуть за горизонтальную веревку, перекинутую через блок с подвешенным на ее конце грузом (рис. 64). Можно также взять пружинные весы, как показывает рисунок 65.

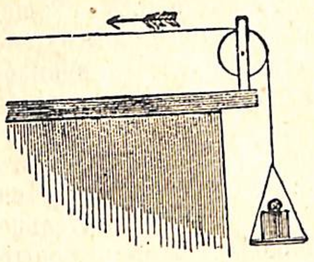


Рис. 64.

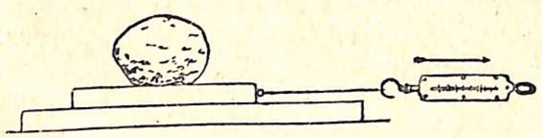


Рис. 65.

Приборами, устроенными на манер пружинных весов, *силомерами*, часто пользуются на практике для измерения силы. Подобным образом измеряется и давление одного предмета на другой, как отвесно вниз, так и в любом направлении. Например, давление ветра на площадь данной величины выражают в весовых единицах: килограммах, на квадратных метрах[1]). Из множества случаев измерения других сил весовыми единицами возьмем еще силу притяжения железа магнитом: как всякая иная тяга, она может быть выражена, например, в граммах веса.

VI. Обзор и добавления.

69. Взвешивая тело, мы сравниваем его вес с другим весом, принимаемым за единицу. Самый простой прием взвешивания и устройство пружинных весов основывается на растягивании или сжимании пружины действием тяжести тела по сравнению с тяжестью гири. Условие равновесия грузов на рычаге: груз, действующий на более длинное плечо, во столько раз меньше груза, действующего на более короткое, во сколько раз первое длиннее второго. Плечами рычага называются расстояния точек, на которые действуют грузы, от оси или точки опоры. Коромысло весов есть равноплечий рычаг и уравновешивается в случае, если к его крючкам подвешены чашки равного веса или если на этих чашках лежат равные грузы.

Если измерением найден о б ъ е м тела, то можно в ы ч и с л и т ь е г о в е с. Для этого нужно только знать, сколько весила бы вода в том же объеме и во сколько раз м а т е р и а л тела тяжелее или легче воды; вес воды легко найти, зная, что 1 куб. дюйм весит $^1/_{25}$ фунта, или $^1/_{1000}$ пуда. В метрической системе мер вычисления упрощаются, так как 1 кубический сантиметр воды весит 1 грамм, 1 кубический дециметр воды 1 килограмм, 1 кубический метр воды 1 тонну — вода весит столько граммов, килограммов или тонн, сколько она занимает кубических сантиметров, кубических дециметров (литров) или кубических метров. Вычислением можно найти вес тела, настолько грузного, что его не взвесишь ни на каких весах.

Чтобы с р а в н и т ь в е с м а т е р и а л а с в е с о м р а в н о г о о б ъ е м а в о д ы, взвешивают данное тело, вытесняют им воду из кружки с отливным носком и взвешивают эту воду; затем

[1]) В сильную бурю давление ветра может доходить до 300 *кг* на квадр. метр; следовательно, стена, например, в 20×15 $м^2$ выдерживает давление в 90000 *кг* ($65^1/_2$ тысяч пудов). Бывали случаи, когда порывом ветра сбрасывался с моста ж.-д. поезд, или вихрем перебрасывался целый дом с его обитателями.

вес тела делят на вес воды. Частное дает относительную плотность или удельный вес материала. Если объем взятого тела можно определить иначе, например, в случае твердого тела прямоугольной формы или жидкости, то воду не приходится взвешивать: она весит столько граммов, сколько куб. сант. содержится в объеме тела.

Не только вес, т.-е. силу тяжести, действующую на тело отвесно вниз, но и другие силы можно выражать в весовых единицах, граммах, килограммах, фунтах, пудах.

70. *Закон равновесия грузов на рычаге* хорошо выясняется на опыте помощью бруска, разделенного на сантиметры и подпертого посредине спицею (рис. 66); можно очень просто выразить и самый закон. Гирька в 100 *г*, подвешенная на 10 сантиметровом плече, уравновесится 50 граммовой, подвешенной на расстоянии 20 *см* от оси; 100 *гк* на плече в 6 *см* уравновесится 50 *г* на плече в 12 *см*; 50 граммовая гирька на плече в 8 *см* уравновесится 20-граммовой на плече во столько раз больше 8 *см*, во сколько раз 20 меньше 50-ти, т.-е. на плече в $8 \times 2^1/_2$, или 20 *см*. Вообще *при равновесии произведения величины груза на соответствующее плечо с той и другой стороны одинаковы*: $100 \times 10 = 50 \times 20$, $100 \times 6 = 50 \times 12$, $50 \times 8 = 20 \times 20$.

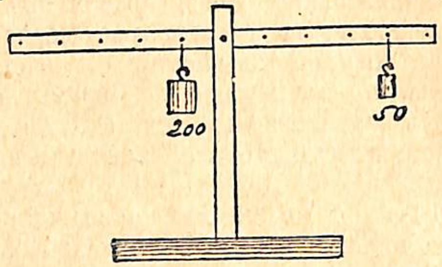


Рис. 66.

71. *Что такое верные и неверные весы.* Скажут: кто же этого не знает! Стоит только взглянуть на стрелку, когда весы перестали качаться. Посмотрим, однако, так ли это. *Верными* были бы такие весы, обе половины которых по ту или другую сторону от опорной оси были бы одинаковы по размерам и весу, но этого обыкновенно не бывает во всей строгости: или есть разница в весе обеих половин весов, или плечи коромысла не совсем одинаковой длины, или же и то и другое вместе. Конечно, всегда легко уравнять весы так, чтобы стрелка незанятых весов стояла правильно, т.-е. отвесно: стоит только подпиливанием хотя бы чашки снизу облегчить ту сторону, которая перетягивает. Посмотрят на стрелку таких весов и скажут: вот верные весы. Но подумайте: может быть одна сторона весов потяжелее, зато другое плечо коромысла подлиннее; как разрешить сомнение? Очень просто. Поместим на чашке по одинаковой гире, и тотчас будет видно, равноплечно ли коромысло: гиря, тянущая за более длинное плечо, перетянет. Если бы оказалось, что равные гири уравновешиваются, то выбранные нами весы равноплечны или по крайней мере так близки к этому, что разница незаметна, а, следовательно, и не идет в счет при наших первоначальных взвешиваниях.

Теперь положим, что *стрелка незанятых весов уклоняется в сторону*, т.-е. коромысло не устанавливается горизонтально. Тогда сперва приводят стрелку в отвесное положение, кладя на ту чашку, которая как будто легче, какую-нибудь легкую добавку, например, обломки спичек, бумажные комочки. После этого делают пробу с одинаковыми гирями, как выше. И вот может оказаться, что весы равноплечны, хотя стрелка пустых весов и не показывала правильно. А ведь это и есть *главное условие верности*! Если «неверность» весов происходит от *неодинакового веса* их половин, то недостаток тотчас исправит каждый: стоит лишь, насколько нужно, увеличить вес более легкой половины, положив что-либо на чашку. Но неверность, зависящую от *неравноплечности* коромысла, можно исправить, только переделав которую-нибудь из опорных частей: это потребовало бы опытного мастера. Теперь вы узнали кое-что о свойствах весов. А вот и еще полезная добавка.

71. *Можно ли взвешивать на весах, оказавшихся неверными, т.-е. неравноплечными?* Очень часто позволительно на этот недостаток не обращать внимания. Но если надо взвесить поточнее, то обычный способ уже не годится, потому что вес гирь при горизонтальном положении коромысла (предполагая, что так именно оно устанавливается и при пустых весах) не будет равняться весу вещи. В этом случае можно поступить так. Поместив на чашку взвешиваемый предмет, тщательно уравновесим его песком или мелкими гвоздями, насыпанными в сосудик на другой чашке; потом снимем предмет и заменим его разновесками до нового равновесия. Вес разновесок тогда будет равен весу предмета, хотя бы одно плечо было гораздо длиннее или короче другого, потому что и взвешиваемый предмет и заменившие его разновески, находясь на одном и том же плече коромысла, уравновешивали собою порознь одну и ту же силу, действующую на другое плечо. Ведь это все равно, как если бы мы, сняв предмет, положили бы его на ту же чашку.

72. Вопросы. 1) При поверке весов можно обойтись без гирь (простые гири одинакового наименования, особенно старые, бывают и неравного веса). Приведя стрелку весов в отвесное положение, кладут на чашку какую-нибудь вещь, и уравновешивают ее песком или мелкими гвоздями, насыпанными в коробочку на другой чашке. Этот противовес тоже называется тарой. Потом перекладывают вещь и тару (коробочку с песком и т. п.) с одной

чашки на другую. Если стрелка опять установится отвесно, то что сказать о плечах коромысла? равны ли тогда вес вещи и все тары? Если стрелка наклонится, то которое плечо длиннее? что тогда тяжелее: вещь или тара?

2) При взвешивании «заменою» на неверных весах, узнаем ли мы заодно и вес того, что было положено на другую чашку? Найдем ли мы вес вещи, если положим по рассеянности разновески не на месте вещи, а на месте тары?

3) Взвесив поточнее (заменою) гирю в $^1/_4$ фунта граммовыми разновесками, вы нашли, положим, 102,5 *г*. Какое отсюда выходит отношение фунта к грамму и грамма к золотнику? Ответ 1 фунт=410 *г*, а грамм немного меньше $^1/_4$ золотника. (Для большей точности следует взвесить гирю подряд раза три и взять среднее арифметическое, т.-е. сложить три полученных веса и сумму разделить на три.)

4) Во сколько раз одно плечо рычага должно быть длиннее другого, чтобы уравновесить между собою гири 1 *кг* и 10 *кг*? (Таково коромысло «десятичных» весов, на которых взвешивают груз гирями, весящими в 10 раз меньше него.)

ГЛАВА ВОСЬМАЯ.

Некоторые особенности явлений тяжести жидкостей.

I. Жидкость давит во все стороны.

73. «Жидкость» — это куча мелких, гладких шариков, скользящих один около другого. Наполните рюмку мелкой дробью, прикройте куском папки и опрокиньте на поднос: дробь держится, образуя почти целое, пока ей мешают рассыпаться стенки сосуда. Приподнимите рюмку, и дробинки, надавливая друг на друга, вследствие тяжести, разбегутся по подносу. Поставьте рюмку с дробью на стол и слегка встряхивайте ее, ударяя по ней пальцем: дробинки с поверхности улягутся почти горизонтально — каждая из них под действием силы тяжести падает как можно ниже, насколько ей не мешают другие. Возьмем еще какое-нибудь «сыпучее» тело: крупу, песок, муку. Чтобы их поверхность расположилась горизонтально, приходится их встряхивать: при этом отдельные крупинки легче перемещаются соответственно действию тяжести. Для жидкости этого не нужно: частицы ее

гораздо подвижнее, гораздо слабее трутся одна о другую, так что силою тяжести легко и быстро уравновешиваются горизонтально.

74. Постараемся теперь представить себе, чем тяжесть жидкости должна проявляться п о д е е п о в е р х н о с т ь ю, в глубине. Каждая частица, под действием тяжести вышележащих, передает давление всем соседним частицам, как бы распирает их во все стороны; поэтому жидкость, сдавленная тяжестью ее самой, должна давить по всем направлениям — не только вниз (как давило бы любое твердое тело), но и в стороны, и вверх. Заметить на опыте, что жидкость давит на боковые стенки сосуда, очень просто. Стоит только в боковой стенке сосуда сделать несколько отверстий и налить воды: она будет бить из отверстий струйками (рис. 67). Не замечали ли вы подобных же струек муки, овса и т. п., вырывающихся из мешка, в котором сбоку есть дырка?

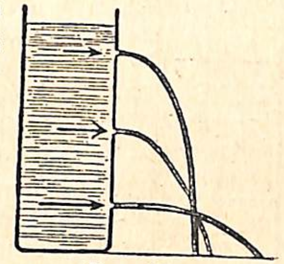


Рис. 67.

И чем глубже внутрь жидкости или сыпучего тела, тем давление сильнее, тем упорнее бьет струя. На рис. 67 величина отмечена разной длиною стрелок. Кто из вас пробовал затыкать пальцем открытый водопроводный кран, тот знает, как сильно вырывается вода из-под пальца во всякое оставшееся отверстие. Откуда берется это давление и почему оно разбрызгивает воду во все стороны?

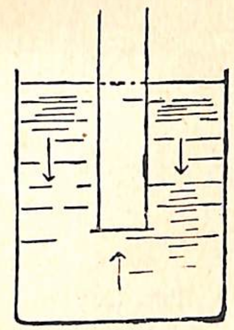


Рис. 68.

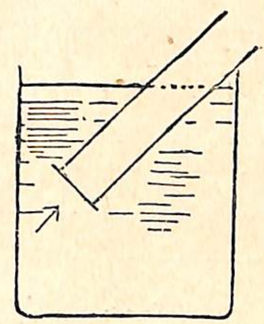


Рис. 69.

75. Но жидкость внутри давит и вверх. Опустите в воду стакан дном книзу, держа его «прямо»: вы почувствуете, что жидкость выталкивает, выпирает его. Это еще гораздо заметнее, если вместо стакана взять ведро. Или возьмем ламповое стекло, приложим к его краю стеклянную пластинку и, придерживая сперва пластинку пальцем, опустим стекло в «прямом» положении в воду: пластинка останется прижатой к стеклу — она удерживается давлением на нее воды снизу (рис. 68). Если немного наклоним стекло, то пластинка не отпадает (рис. 69); она осталась бы прижатой к стеклу во всяком его положении, если бы не соскальзывала. Держа стекло отвесно, опустим на пла-

стинку гирьку—она будет спокойно оставаться на ней (рис. 70). Не зависит ли величина груза, который еще может удержать пластинка, от ее глубины под поверхностью жидкости? От каких именно частей жидкости зависит это давление снизу на пластинку? Та часть жидкости, которая под пластинкой, сама по себе давила ли бы на пластинку, если бы не было частей, лежащих выше (см. рис. 71)?

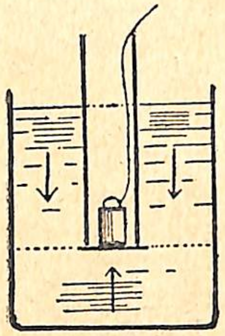


Рис. 70.

Вместо того чтобы класть на пластинку гирьку, станем вливать в ламповое стекло воду. Сперва пластинка еще удерживается; но она отпадает, когда поверхность воды в стекле сравняется с наружной (собственно немного раньше—почему?) Следовательно, теперь вода давит на пластинку одинаково и сверху, и снизу: оба давления, как говорят, взаимно уравновешиваются, и не остается силы, которая прижимала бы пластинку к стеклу, как прежде [1]). Попробуем достать упавшую на дно пластинку, но не прямо рукою—это не хитро,—а воспользовавшись давлением на нее самой же воды. Что будет, если, удерживая ламповое стекло вплотную на пластинке, удалить из него воду? Ведь тогда давления на пластинку сверху не будет—останется только давление снизу — и пластинка снова должна прижаться! Удалить же воду изнутри можно следующим любопытным способом (вы поймете его впоследствии). Один конец каучуковой трубки опускают в ламповое стекло до низу, т.-е. до пластинки (рис. 72), а другой, более длинный—в какой-нибудь сосуд, поставленный около стола, ниже его крышки; каучуковую трубку наполняют водою, например, «насасывают» ртом: после этого вода как бы сама собою вытечет

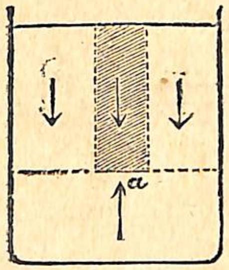


Рис. 71.

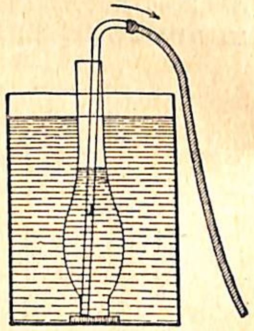


Рис. 72.

[1]) Подумав хорошенько, вы, пожалуй, скажете, что это не совсем верно. ведь нижняя сторона пластинки находится в жидкости *немного глубже* верхней, а следовательно, должна подвергаться немного большему давлению снизу, чем сверху. Если вы сделаете это заключение, то вы, значит, хорошо поняли сказанное выше о давлении жидкости. Но мы увидим в X главе, что все же остающейся силы (разницы между давлениями снизу и сверху) недостаточно, чтобы пластинка осталась прижатой.

в подставленный сосуд. Пластинка прижмется к стеклу, ее можно будет, приподняв стекло, достать из воды. Но можно того же достичь и иначе. Приложив нижний край лампового стекла к лежащей на дне пластинке (как выше), возьмем в рот верхний конец и напором щек выдавим изнутри воду: как только отнимем рот, пластинка тотчас прижмется. Или, вынув ламповое стекло из воды, плотно закроем его верх ладонью и опустим в воду; последняя не войдет в стекло. Если теперь хорошенько приложим его к пластинке и отнимем ладонь, то пластинка опять будет прижата давлением воды снизу. Наконец, мы можем использовать и давление воздуха на поверхность воды. Приложив ламповое стекло к пластинке, возьмем опять верх его в рот и разредим оставшийся внутри стекла воздух («высасыванием»). Давление воздуха на воду внутри стекла ослабеет, а давление наружного на поверхность воды в сосуде останется прежнее; но так как оно через воду тоже действует на пластинку снизу, то оно пересилит, и пластинка прижмется к стеклу. Таким образом, можно по желанию распоряжаться давлением воды, если только знать, как именно оно действует.

Итак, давление внутри жидкости от действия тяжести, несомненно, существует. Почему же мы его ничуть не замечаем, опустив, например, в воду руку? Просто потому, что на небольшой глубине давление мало, а еще потому, что оно действует на руку почти с одинаковой силой со всех сторон. На большой глубине давление, однако, уже чувствуется частями нашего тела; например, самые опытные водолазы могут опускаться в воду не глубже 3—4 десятков саженей, потому что давление воды уже сильно противодействует расширению грудной полости при дыхании и работе сердца.

II. Жидкость в сообщающихся сосудах.

76. Не только в одном сосуде, но и в сосудах, сообщенных между собою трубкой, жидкость устанавливается на одном горизонтальном уровне (рис. 73). Вы, конечно, много раз замечали это и не сомневаетесь, что, например, в лейке и ее носке вода держится на одинаковом уровне, хотя это прямо и не видно (рис. 74). Если уровни различны, то жидкость будет перетекать из сосуда с высшим уровнем в сосуд с низшим, пока высоты в обоих не сравняются. Обратите внимание на то, что здесь совершенно безразлично, каково положение дна сосудов (рис. 75).

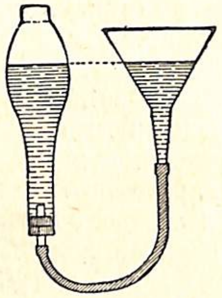


Рис. 73.

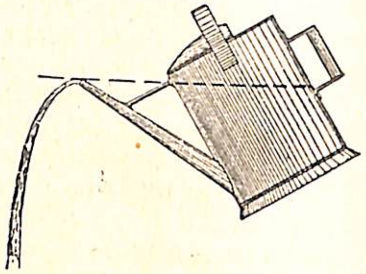


Рис. 74.

Чтобы снабжать жителей какой-либо местности водою, накачивают ее насосами в большой водоем (бак), откуда проводят по трубам, обыкновенно подземным, во все стороны: вода в домах поднимается до высоты уровня ее в баке [1]).

Если один из сообщающихся сосудов ниже уровня жидкости в другом и заканчивается небольшим отверстием, то, вследствие напора снизу, жидкость выбрасывается из него фонтаном (рис. 76). Не редкость — естественные фонтаны или артезианские колодцы (рис. 77).

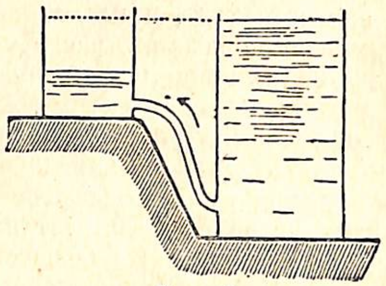


Рис. 75.

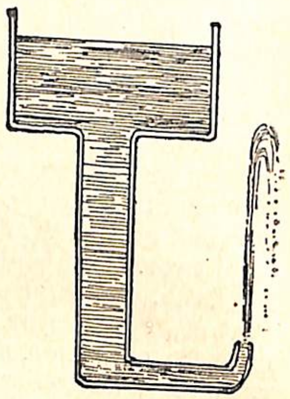


Рис. 76.

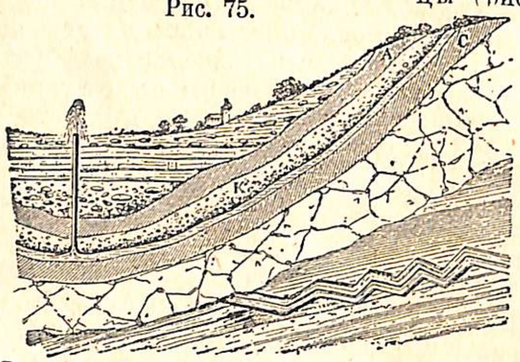


Рис. 77. Вода, накопляющаяся на возвышенности, стекает вниз по слою песка, заложенному между слоями глины, мало проницаемой для воды.

Вопросы. 1) Чтобы решить, насколько поднимается вода (предполагая ее в покое) в водопроводных трубах домов, снабжаемых из бака водонапорной башни, откуда считать высоту воды: от поверхности почвы, от уровня воды в реке или от какой-либо другой поверхности? (См. вопр. 2, 8 9.)

2) Горизонтальна ли поверхность спокойно текущей реки?

[1]) Надо, впрочем, заметить, что так было бы, если бы вода была в покое. В водопроводных трубах, вследствие постоянного расхода, вода *течет*; напор текущей воды становится все меньше и меньше по мере удаления от «водонапорной башни».

III. Как вычисляется давление жидкости на данной глубине.

77. Давление жидкости на заданной глубине под поверхностью легко вычислить. Надо только условиться относительно величины площади, для которой хотят определить давление, потому что на площадь двойной величины оно, конечно, будет вдвое больше, на площадь тройной — втрое и т. д. Вы это хорошо поймете, если представите себе, например, что в ящик насыпан слой песку или дроби (пусть дно ящика и верхняя поверхность слоя горизонтальны). С силою скольких граммов давит песок или дробь? Что в вопросе не досказано? Понятно, что должны быть еще известны глубина слоя и задана величина площади дна. Давление (напор) жидкости нам обыкновенно придется выражать числом граммов (килограммов) на квадратный сантиметр.

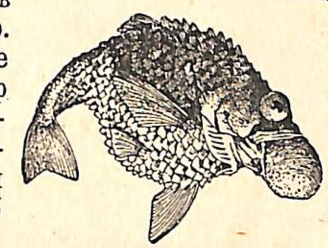


Рис. 78. Рыба, извлеченная из воды с большой глубины. Пузырь вышел через рот наружу.

Узнаем, например, как велико давление воды на каждый квадратный сантиметр поверхности рыбы, плавающей на глубине одного километра. Над горизонтальной площадкой в 1 *см*², находящейся на такой глубине, стоит водяной столб в 1 километр, или 100000 *см*. В таком столбе умещается 100000 *см*³ воды. А так как 1 *см*³ воды весит 1 грамм, то вес всего столба — 100000 граммов или 100 килограммов. На каждый квадр. децим. тела рыбы это будет уже 10000 *кг* или 10 тонн (610 пудов). Можете ли вы объяснить себе, почему это давление не вредит рыбе и, конечно, даже не замечается ею? Равновесие между внутренним и наружным давлением, однако, нарушается, когда глубоководное животное быстро вытаскивают на поверхность (рис. 78). На больших глубинах давление воды очень велико — оно может раздавить крепкий сосуд, если не встречается достаточного противодействия изнутри, например, пустую толстостенную бутылку, наглухо закупоренную. Наоборот, если такой сосуд наполнить водою на большой глубине, плотно заделать и поднять в верхние слои, то он может быть разорван внутренним давлением.

78. Вопросы. 1) Как велико давление в килограммах на 1 *см*² на наибольшей морской глубине, считая ее округленно в 10 *км*? Ответ: Миллион граммов или 1000 *кг*, т.-е. 1 тонна (61 п.).

2) Насколько давление в действительности больше, если принять во внимание, что плотность морской воды, сравнительно с пресной, выражается числом 1,03? Ответ: На 30 *кг* (считая опять на 1 *см*²).

IV. Обзор.

79. Всякая находящаяся на земном шаре жидкость подвержена действию тяжести, и любой слой ее (кроме самого поверхностного) сдавлен тяжестью вышележащих слоев—тем сильнее, чем он глубже. Это давление, благодаря удобоподвижности частиц жидкости, передается ею равномерно по всем направлениям: не только вниз и в стороны, но и вверх. Давление внутри жидкости тотчас обнаруживается, как только оно устранено с одной какой-либо стороны. На больших глубинах оно очень велико. В сообщающихся сосудах жидкость устанавливается на одном и том же горизонтальном уровне, всегда перетекая от высшего уровня к низшему—независимо от размеров и формы сосудов.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ.

Атмосферное давление.

I. Несколько простых опытов.

80. О давлении окружающего воздуха на земные предметы мы уже упоминали выше (§ 24). Чтобы лучше понять некоторые подробности, не надо забывать того, что мы живем на дне воздушного океана. Налейте в склянку воды: она давит на дно и стенки потому, что имеет вес. Воздух же, наполняющий склянку, давит на ее стенки, главным образом, потому, что он сжат тяжестью вышележащего: собственный вес его в склянке сравнительно ничтожен и чаще всего не идет в счет. Если бы мы наполнили водою склянку на большой морской глубине, то и она давила бы на стенки, главным образом, вследствие своей сжатости.

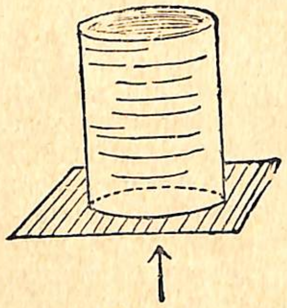


Рис. 79.

Вот несколько простых опытов, указывающих на существование атмосферного давления. Кусок бумаги, которым был покрыт наполненный водою стакан, не отпадает, если (придерживая сперва бумагу рукою) опрокинуть стакан (рис. 79). Вода не выливается из наполненной водою бутылки, если опрокинуть ее отверстием в воду (рис. 80). Возьмем еще ламповое стекло и погрузим его, широким отверстием вниз, в большую банку с водою настолько,

чтобы его верхний конец тоже находился в воде, и плотно закроем последний прижатой ладонью: тогда стекло можно будет поднять почти до краев вместе с водою; но если отнять руку, то вода, конечно, тотчас выльется. Удобнее взять стекло с вправленными в него трубочками (рис. 81). Нет даже необходимости наполнять и ламповое стекло водою до верху: если в нем и останется воздух, то вода все же не вытечет, пока верхнее отверстие заткнуто. Почему? Подумайте: воды сперва немного выльется, и это даст возможность воздуху над нею несколько расшириться, разредиться; но тогда воздух изнутри будет давить уже слабее прежнего, и вот его давление вместе с давлением оставшейся воды как раз и уравновешивается наружным.

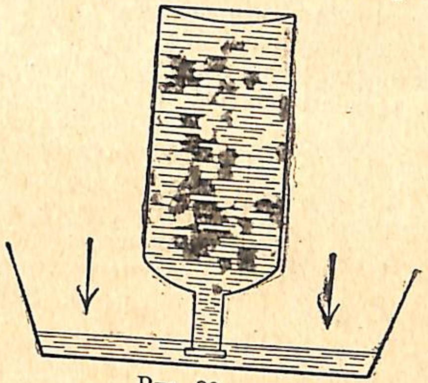


Рис. 80.

Что давление сжатого сравнительно с атмосферным воздуха становится сильнее, а разреженного слабее, хорошо видно еще из следующего: возьмем ту трубку с поршнем, которою мы уже пользовались выше (рис. 20). Вталкивая поршень при закрытой с конца трубке, мы сжимаем воздух, давление его усиливается сравнительно с наружным и выталкивает поршень обратно, лишь только отнять руку. Но если сперва вдвинуть поршень почти до конца открытой трубки, плотно заткнуть конец, потом несколько вытянуть поршень и отпустить, то он снова вдвинется как бы сам собою почти на прежнее место. По плохой привычке мы сказали бы, что поршень «втягивается», тогда как в действительности он вталкивается пересиливающим напором наружного воздуха, так как находящийся под поршнем расширившийся — разреженный — воздух уже давит теперь слабее; рукою, тянущею поршень, мы ощущаем этот избыток или перевес наружного давления: так и кажется, будто мы растягиваем скрытую под поршнем пружину... Заметьте, что все равно, как держать трубку — отверстием вниз, вверх или как-нибудь иначе: воздух давит безразлично во все стороны.

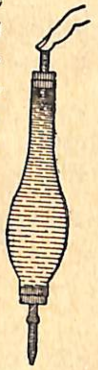


Рис. 81.

Полость нашего рта и щек — очень удобное приспособление, которое часто может заменить нам трубку с поршнем. Делая

щеками всем нам знакомое сжимающее усилие, мы сдавливаем воздух, как при вдвигании поршня, хотя и слабее. Напротив, если будем делать щеками противоположное усилие, которое мы привыкли называть «втягивающим» или «всасывающим», то достигнем того же, что при вытягивании поршня из трубки; в действительности мы при этом разрежаем воздух в полости рта. Обратите внимание, что при этом щеки всегда бывают вдавлены внутрь; почему?

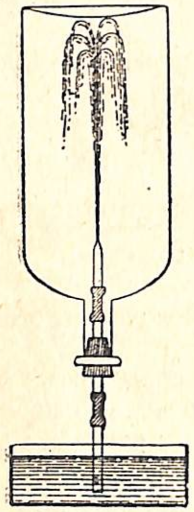


Рис. 82. Вода бьет фонтаном внутрь склянки, в которой ртом разрежен воздух.

Раньше (§ 19, рис. 21), сжимая воздух в склянке напором щек, мы заставляли воду бить из нее фонтаном. Наоборот, если разредить воздух в склянке ртом, то вода будет бить фонтаном внутрь склянки — вследствие пересиливающего теперь наружного (атмосферного) давления (рис. 82).

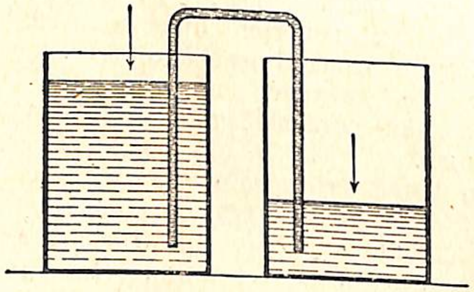


Рис. 83. Трубка остается всегда наполненной жидкостью благодаря атмосферному давлению на поверхности жидкости в сосудах. Жидкость переливается из левого сосуда в правый, так как в сообщающихся сосудах она всегда устанавливается на одном горизонтальном уровне (§ 76).

Участием атмосферного давления объясняется и тот способ переливания воды, которым мы однажды уже пользовались (рис. 83). В сообщающихся между собою сосудах (рис. 73) жидкость устанавливается на одном горизонтальном уровне; если прильем воды в один из них или приподнимем его, то спустя некоторое время уровни опять станут одинаковыми. Но в нашем случае соединяющая сосуды трубка поднимается над уровнем жидкости; почему она постоянно остается наполненною? Потому, что атмосферное давление, действующее на поверхность жидкости в сосудах, препятствует ей разорваться и потечь в раз-

ные стороны. Описанное простое и практическое приспособление называется сифоном.

Если наполнить склянку водою доверху, плотно закупорить и вставить в пробку одну ветвь сифона, то вода наверное не потечет, хотя бы сифон и был ею наполнен. Почему?

II. Насосы: «водяной» и «воздушный».

81. После всех этих опытов разные случаи «всасывания», «высасывания» и «присасывания» (подыщите сами несколько примеров), конечно, представятся вам в ином свете, чем обычно. И, вероятно, вы не затруднитесь объяснить теперь себе следующее явление. Если нижний конец трубки, в которую плотно вставлен поршень, опустить в воду и вытягивать поршень, то вода пойдет вслед за ним (рис. 84). Повторим ли мы здесь привычную, ничего незначащую фразу, что «вода втягивается — всасывается — поршнем», или же найдем лучшее объяснение, приняв в расчет давление наружного воздуха на поверхность воды в стакане? Но, дав себе отчет в этом явлении, мы поймем, на чем основано действие обыкновенного водяного насоса, которым поднимают воду из неглубокого колодца, выкачивают воду из подвала, из барки и пр. Из рис. 85 видны некоторые подробности его устройства.

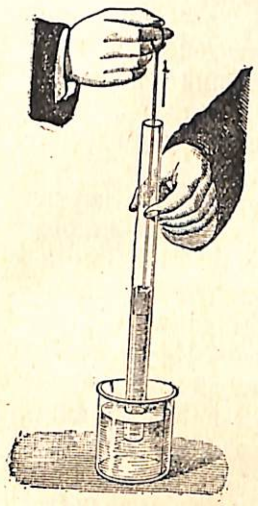


Рис. 84.

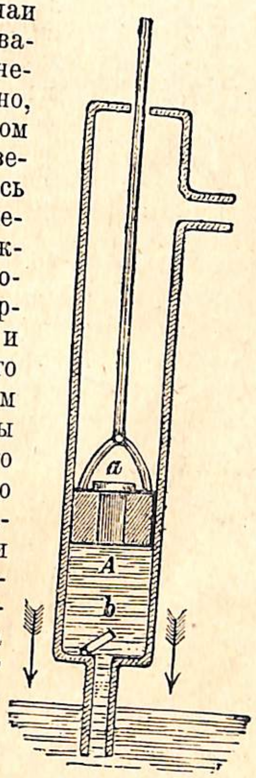


Рис. 85. Водяной насос. При поднятии поршня вода под действием атмосферного давления приподнимает клапан b и заполняет пространство A; при опускании поршня открывается клапан с поршнем и вода выходит из-под поршня.

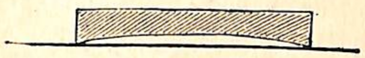


Рис. 86. Резиновая пластинка, прижимающаяся атмосферным давлением.

82. Вопросы. 1) Если резиновую пластинку с углублением вроде чашки с одной стороны (рис. 86) прижать этой стороной к оконному

стеклу или тарелке и отнять руку, то пластинка крепко пристанет к поверхности. Почему? (Присасывание некоторых слизняков, например, улитки, к гладким предметам производится мышечным органом, действующим подобно этой резиновой пластинке.)

2) Мокрый резиновый мешок (для ледяных компрессов), положенный на стол, очень трудно оторвать, если тянуть его вверх. Почему? (В некоторых магазинах у кассы вкладывается резиновый блин для сдачи; если он лежит на мраморной поверхности, то его можно сильно тянуть кверху и он не отрывается.)

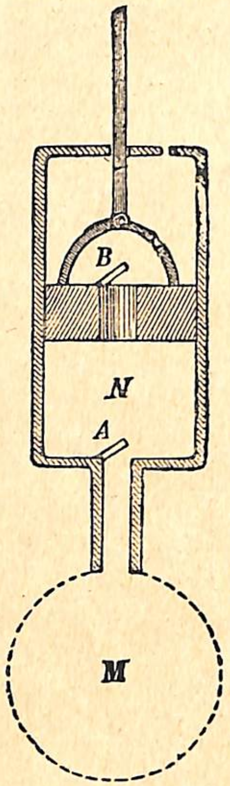


Рис. 87. Воздушный насос. Оба клапана для ясности изображены открытыми.

3) Если стараться быстро открыть плотно входящую дверцу шкапа, то ощущается особое («всасывающее») противодействие, которого нет при медленном открывании. Чем объяснить разницу? Ощущалось ли бы такое противодействие, если бы шкап имел еще другую дверцу, которая была бы открыта?

4) Положим, шкап (без перегородок внутри) имеет две плотных дверцы *A* и *B*, из которых первая открыта, а вторая закрыта. При быстром захлопывании A дверца *B* выталкивается наружу. Но почему при быстром открывании A другая дверца будет как бы втянута? Не бывает ли чего-нибудь сходного в комнате с двумя дверями?

5) Если обрывок бумаги накрыть книгой и быстро поднять книгу, то почему бумажка на короткое время точно прилипает к книге? Почему этого не бывает при медленном поднятии?

6) Вытягивая ногу из глубокой грязи, какое противодействие преодолеваем мы, кроме противодействия грязи?

7) Когда мы пьем, мы обыкновенно не просто вливаем напиток в рот, а пользуемся атмосферным давлением. Объяснить, как именно.

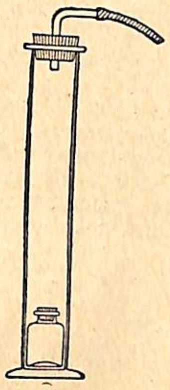
8) Какова роль атмосферного давления при вдыхании нами воздуха?

83. Обратимся теперь к воздушному насосу, прибору уже упоминавшемуся раньше (§ 25). На рис. 87 видно, что клапаны его устроены сходно с клапанами водяного насоса. Вы, конечно, сумеете сказать сами, как будут действовать клапаны — когда открываться и отчего — при попеременном движении поршня в ту и другую сторону.

Положим, что вместимость сосуда *M* равняется вместимости цилиндра (при поднятом поршне). Тогда при поднятии поршня

воздух сосуда *M* распределится поровну в *M* и *N*, т.-е. половина воздуха из сосуда *M* перейдет под поршень; следовательно, в *M* останется половина прежнего количества воздуха. После второго вытягивания поршня в *M* остается половина этой половины, т.-е. $^1/_4$ первоначального количества воздуха. После третьего выдвигания его останется $^1/_8$ и т. д. Нетрудно рассчитать, что после десятого поднятия поршня в сосуде *M* осталось бы менее тысячной (именно $^1/_{1024}$) первоначального количества воздуха: воздух будет разрежен слишком в 1000 раз против атмосферного.

Но мы продолжаем действовать поршнем. Достигнем ли мы, наконец, того, чтобы в сосуде *M* вовсе не осталось воздуха? Очевидно, нет, ибо после каждого вытягивания поршня в сосуде *M* остается часть бывшего в нем прежде воздуха.


Рис. 88. При выкачивании воздуха из цилиндра пробка выбрасывается из баночки.

Если бы вместимость цилиндра была значительно больше, например, в 9 раз больше вместимости сосуда *M*, то все же при каждом вытягивании поршня в сосуде *M* оставалась бы $^1/_{10}$ часть прежнего воздуха. Следовательно, этим путем нельзя удалить из сосуда всего воздуха, нельзя достичь «пустоты»; можно лишь разредить воздух — тем сильнее, чем дольше продолжалось выкачивание. Некоторые неизбежные недостатки в устройстве воздушных насосов не позволяют, однако, вести разрежение дальше известных границ, и воздушный насос этого рода может считаться очень хорошим, если он разрежает воздух раз в 1000 против атмосферного. В устройстве хороших насосов, впрочем, много подробностей, которые делают их приборами довольно сложными. Они требуют тщательного ухода и уменья с ними обращаться. Для всех наших основных опытов вполне достаточно того маленького ручного насоса, которым мы пользовались. Его затворы из резиновых трубок действуют подобно клапанам только что описанного насоса.

«Вытягиваем» ли мы воздух насосом, как часто говорят? Не даем ли мы ему просто возможность расширяться, освобождая вытягиванием поршня свободное пространство под поршнем? Припомните из § 80, отчего вытягивание поршня требует усилия. Не должно ли усилие увеличиваться по мере того, как воздух под поршнем все более разрежается?

84. Вот еще несколько интересных добавочных опытов. На дно цилиндра ставится свободно входящая в него баночка, закупоренная хорошей пробкой (рис. 88). При выкачивании воз-

духа из цилиндра пробка выбрасывается из баночки, как бы вытолкнутая сжатой пружиной. Почему? Стремление воздуха расширяться видно также из опыта (рис. 89) (припомните, кстати, опыт с мыльной пеной). В склянку (рис. 90) наливают немного воды, опускают туда, отверстием вниз, пробирный цилиндрик, сообщают склянку с насосом и разрежают воздух. Что должно произойти с водою в пробирке? Когда выход из нее воздуха прекратится, зажимают резиновую трубку и отнимают насос.—Что будет с водою в пробирке, если в склянку пустить воздух? Теперь можно судить и о степени достигавшегося разрежения; остающееся в пробирке небольшое количество воздуха в разреженном состоянии занимало всю внутренность пробирки. В описанном только что опыте можно видеть и выделение из нее пузырьков растворенного воздуха. Стоит повторить опыт и отдельно, взяв больше воды и похолоднее.— Кажущееся «присасывание» воронки к ладони показывает опыт (рис. 91). Если долго продержать так воронку, то на коже выступит пятно от прилива крови (так при лечении ставят «банки»—только разрежение достигается другим способом).— Очень любопытно приложить воронку к щеке, которая сильно выпучивается даже при слабом разрежении воздуха: не сказали ли бы опять по привычке, что щека «втягивается» в воронку?... Для опытов с воронкой вполне пригоден и наш естественный насос— полость рта и щек.

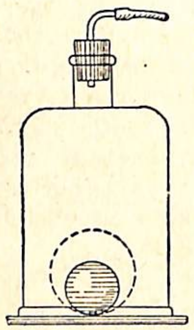


Рис. 89. Резиновый мячик раздувается при выкачивании воздуха из пространства под колпаком.



Рис. 90.

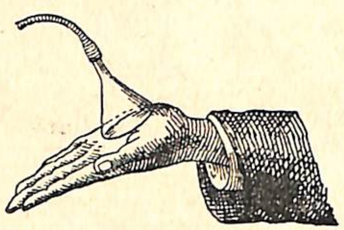


Рис. 91.

III. Как велико атмосферное давление.

85. Мы уговорились (§ 77) выражать *давление жидкости числом единиц веса на единицу площади*: обычно числом граммов или килограммов на квадратный сантиметр.

Точно также выражают и давление воздуха, которое ведь тоже на двойную площадь будет вдвое больше, на тройную — втрое и т. д. Но *вычислить* прямо давление воздуха, как мы вычисляли давление воды на данной глубине (§ 77), нельзя, потому что высота атмосферы над землею — нечто неопределенное (§ 5), а плотность воздуха на высоте меньше чем внизу. Но можно решить вопрос опытным путем. Поставим на пластинку под стеклянный колпак гирю (рис. 92) и разредим воздух насосом: колпак можно будет поднять вместе с пластинкой и гирей. Теперь представим себе, что к крюку, вделанному в пластинку снизу, подвешивают гири до тех пор, пока пластинка не будет оторвана; положим, что из-под колпака хорошим насосом был удален почти весь воздух. Зная нагрузку и измерив, сколько квадратных сантиметров в пластинке (конечно, кроме ее частей, выходящих за края колпака), мы и узнаем, каково давление воздуха на каждый квадратный сантиметр. Если площадь пластинки была, например, 25 квадратных сантиметров, то окажется, что она выдержит нагрузку несколько более 25 *кг* ($1\frac{1}{2}$ пуда); следовательно, на каждый кв. см придется примерно 1 килограмм. Пластинка в 10 кв. дюймов удержала бы нагрузку в 4 пуда; сколько это составит фунтов на 1 кв. дюйм? на 1 кв. фут?

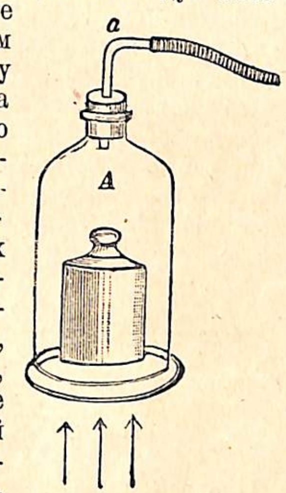


Рис. 92. Если насосом разредить воздух под колпаком, последний можно поднять вместе с пластинкой и гирей.

86. Простой расчет покажет нам, что с такой именно силой давила бы на земную поверхность *вода*, если бы она, вместо воздуха, была разлита *равномерным слоем глубиной* 1033 сантиметра (кр глым счетом 10 метров)—это в русских мерах немного меньше 5 саж. (3 фута). Представим себе колодец, над дном которого стоит столб воды в 1033 см высотой. Чтобы узнать его давление на дно, надо найти, сколько весит такой столб воды. Возьмем на дне сперва площадку в 1 *см*². В стоящем над нею водяном столбе уложится 1033 *см*³. Куб. см. воды весит 1 г. Следовательно, 1033 *см*³ воды весят 1033 *г*, или округленно 1 килограмм. Таков вес водяного столба, стоящего в колодце над *каждым* квадр. сант. дна. Теперь положим, что вся площадь дна такая же, как обыкновенного письменного стола длиною 1,5 метра и шириною 0,8 метра, т.-е. 1,2 кв. метр. Так как в квадратном метре 10000 *см*², а на каждый *см*² при-

ходится давление в 1 *кг*, то давление на площадь в 1 $м^2$ будет уже 10000 *кг*, или 625 пудов. На 1,2 кв. м это выйдет 12000 *кг* (около 752 пудов). Значит, таково именно давление атмосферного воздуха на поверхность нашего письменного стола. Можно ли этому поверить? Конечно, нельзя удовлетворяться одним лишь выводом и вычислением, хотя бы оно и было правильно. Надо постараться уяснить себе, почему такое давление не вредит предметам и остается незамеченным. Доска стола, разумеется, не выдержала бы, если бы на нее давило несколько сот пудов с одной стороны; но ведь воздух давит на нее сверху и снизу. Это похоже на следующее. Если на укрепленный за края листок бумаги будем надавливать пальцем, то бумага легко рвется; но она без вреда выдержит очень большое давление, если сдавливать ее одновременно с той и с другой стороны, как показывают стрелки на рис. 93. Все это хорошо, скажете вы; но как же мы никакого давления не чувствуем? Ведь если бы нас стали сильно сжимать со всех сторон прессом, то как не поздоровилось бы! Однако, вот рыба, плавающая на большой глубине и подверженная огромному давлению воды, наверное никаких неудобств не испытывает и чувствует себя прекрасно. Суть дела в том, что жидкости, воздух, газы и др., которыми пронизано все наше тело, с д а в л е н ы т о ч н о т а к ж е, к а к н а р у ж н ы й в о з д у х, и противодействуют изнутри атмосферному давлению. Взгляните на резиновый мячик уже немного помятый (не туго надутый), но не прорванный: его оболочка нисколько не напряжена, потому что внешнее давление воздуха как раз уравновешивается внутренним. Но стоит только разрядить наружный воздух, и оболочка мячика раздувается, напрягается: если бы мячик мог ощущать, то он, конечно, почувствовал бы это нарушение равновесия. Жидкости и газы, находящиеся в теле глубоководной рыбы, точно так же противодействуют давлению на нее воды. Бывают случаи, когда это равновесие наружного и внутреннего давления нарушается: тогда страдает целость организма, и его жизни угрожает большая опасность. О том, что может произойти с телом рыбы, быстро извлеченной с большой глубины, мы уже упоминали (§ 77). Воздухоплаватели, быстро поднимающиеся на большую высоту, подвергаются подобной же опасности: кровеносные сосуды могут не выдержать перевеса внутреннего давления — произойдет кровоизлияние со всеми его последствиями.

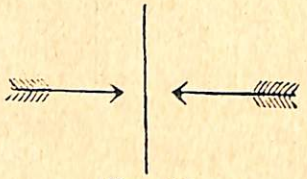


Рис. 93.

Описание двух опытов, оставляющих неизгладимое впечатление на тех, кто видит их впервые, — с такой поразительной

наглядностью обнаруживают они, как велико атмосферное давление на площадь не очень малых размеров — дано под рис. 94 и рис. 95.

87. Вопросы. 1) Закупоривая бутылку пробкой, мы немного сжимаем внутренний воздух. Но если бутылку плотно закрыть так, чтобы нисколько не сжать в ней воздуха, то каково будет его давление на внутренние стенки бутылки? Ответ: Такое же, как давление наружного воздуха — примерно 1 *кг* на каждый $см^2$ поверхности стенок.

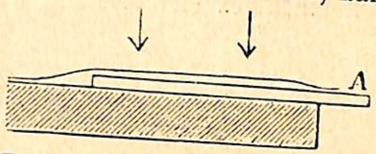


Рис. 94. Дощечка *A*, покрытая листом бумаги, немного выдается за край стола. При коротком и сильном ударе кулаком по краю *A* дощечка не будет сбита с места, так как при коротком ударе воздух под дощечкой разрежается (наружный не успевает проникнуть под нее—этому мешает бумага), и наружный воздух с большой силой прижимает ее к столу.

2) Давление воздуха внутри туго надутого резинового мяча равно ли давлению наружного воздуха? Каков будет внешний вид оболочки (непрорванного мяча) при равенстве внутреннего и внешнего давления? Каким образом давление огромной массы наружного воздуха может уравновешиваться давлением ничтожного количества внутреннего?

3) Так как под дощечкой в описанном выше опыте (рис. 94) есть воздух, то будет ли давление, прижимающее ее к столу в момент удара, равно полному давлению на нее атмосферного воздуха сверху? Если ширина дощечки 8 *см*, а длина той ее части, которая лежит под бумагой на столе, 25 *см*, то с какой силой была бы дощечка прижата при ударе, не будь под ней воздуха (считать давление атмосферного воздуха в 1 *кг* на $см^2$)?

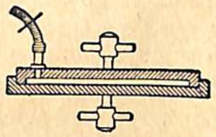


Рис. 95. Металлические с хорошо пришлифованными краями тарелки, между которыми оставлен лишь небольшой свободный промежуток. После достаточного разрежения воздуха насосом тарелки могут быть разняты лишь при наличии большой силы. Настоящий опыт представляет видоизменение известного опыта с «Магдебургскими полушариями», произведенного впервые Отто Герике в городе Магдебурге в 1654 г.

4) Как велико давление атмосферного воздуха на поверхность тела человека среднего роста, считая ее в $1\frac{1}{2}$ кв. метра? Ответ: Немногим менее 1000 пудов. Какое давление приходится на малую часть поверхности, например, на 1 $мм^2$? Ответ: Всего около 10 граммов. (Действие двух противоположных давлений такой величины хорошо выдерживалось бы даже тканями менее прочными, нежели входящие в состав нашего тела.)

5) Вычислить давление воздуха на пол, стены и потолок комнаты, которой длина 8, ширина 5, а вышина 4 метра. Ответ: Давление на пол около 2500 пудов. Отчего это

давление гораздо больше **веса** воздуха в комнате (12 пуд.— см. выше § 11)?—Почему воздух давит и на стены и на потолок?

6) Определить приблизительно давление воздуха на площадь в 1 кв. километр. Ответ: Свыше 600 **миллионов пудов** — примерно вес 400 военных броненосных судов из числа самых больших (или также вес кирпичной кладки высотою в 2 сажени, сплошным слоем лежащей на той же поверхности).

IV. На какую высоту можно поднять жидкость атмосферным давлением.

88. Можно ли поднять воду «всасывающим» насосом на какую угодно высоту? Стоит только подумать, чтобы ответить: нет, нельзя. Ведь вода поднимается вследствие напора на нее воздуха, а этот напор имеет же границу. Мы уже узнали, что давление воздуха такое же, как давление на ту же самую площадь слоя воды глубиною свыше 10 метров; понятно, что давлением воздуха и не загонишь воду выше этого. В самом деле, положим, что воду поднимают по трубке, вытягивая поршень, под которым не оставлено нисколько воздуха (см. выше рис. 84 и рис. 85). Вода будет подниматься до тех пор, **пока давление водяного столба не заменит собою бывшего в ней прежде давления воздуха.** Сперва в трубке (*A*) был воздух, который и давил на поверхность воды (*a*) внутри трубки: это давление уравновешивалось давлением на воду наружного воздуха. Теперь в трубке вместо воздуха 10-метровый столб воды, давление которого попрежнему уравновешивается наружным (атмосферным). Если бы мы взяли трубку более широкую или более узкую, то нашли бы, что вода поднимается за поршнем на ту же высоту: в более широкой трубке, например, водяной столб той же высоты, правда, будет весить больше, но зато и его давление заменяет собою давление воздуха на соответственно большую площадь. Итак, вода не пойдет выше 10 метров или примерно 5 сажен. Но если продолжать вытягивать поршень? Можно тянуть сколько угодно: под поршнем остается безвоздушное пространство — и только [1]).

[1]) Конечно, для этого нужно, чтобы поршень нисколько не пропускал воздуха, чтобы была взята вода, не содержащая растворенного воздуха; нужно соблюсти еще и другие трудно осуществимые условия. Все это сильно затрудняет получение безвоздушного пространства. Кроме того, в пространстве под поршнем будет непременно содержаться водяной пар, потому что вода испаряется при всякой температуре. Итак, даже добившись «безвоздушного» пространства, мы все-таки не получили бы «пустоты».

Опыты с водою и 10-метровыми трубками в былое время производились не один раз. Конечно, это были очень трудные опыты. Дело стало гораздо проще, когда догадались взять вместо воды **ртуть**, которая в 13,6 раза тяжелее воды: она будет поднята атмосферным давлением на высоту, которая получается, если 1033 *см* разделить на 13,6; это выйдет всего лишь 76 сантиметров (30 дюймов, т.-е. немногим больше аршина). Оказалось, что **не нужно и поршня**, с плотной пригонкой которого много хлопот. В трубку длиною сантиметров в 80, **запаянную с одного конца**, просто вливают ртути до краев, **выгоняя, таким образом, из нее воздух** (рис. 96). Плотно закрыв отверстие трубки пальцем, опрокидывают ее в чашку со ртутью и отнимают палец (рис. 97). Если теперь, держа трубку **отвесно**, измерить высоту ртутного столба над уровнем ртути в чашке, то получится вообще число достаточно близкое к 76 *см* [1]).

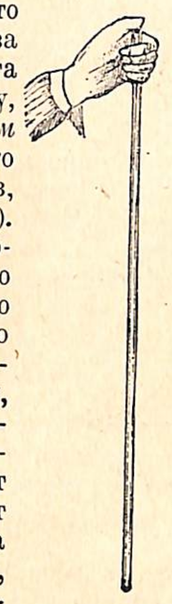


Рис. 96.

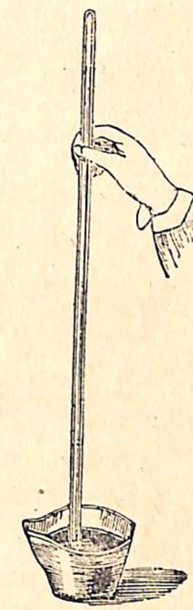


Рис. 97.

89. Вопрос. Удалось ли бы сифоном (рис. 83 § 80) перелить воду через гору? Какой высоты может быть, самое большое, сифон, считая от более низкого из обоих уровней до изгиба трубки? Какой высоты не должен превышать сифон, если хотят перелить им ртуть?

Вот опыт, представляющий подражание предъидущему,—с тою разницею, что давление атмосферного воздуха заменено давлением воды. Нальем в высокий стеклянный цилиндр немного ртути, опустим в нее конец (поставленной отвесно) стеклянной трубки и затем наполним цилиндр водою (рис. 98).

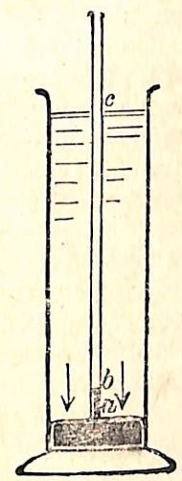


Рис. 98.

[1]) Не ровно 76 потому, что атмосферное давление несколько различно в разных местах и в разное время; да и из трубки трудно (лучше сказать, невозможно) удалить весь воздух.

Ртуть в трубке немного поднимется, вследствие давления воды на поверхность окружающей ртути. Очевидно, давление ртутного столбика *ab* как раз заменяет собою давление столбика воды, которого высота была бы *ac*. Действительно, стоит лишь немного приподнять конец трубки над поверхностью ртути, и ртуть заместится водою, которая тотчас поднимется до *c*. Теперь представим себе вместо воды воздушную оболочку земли, а трубку, опущенную в ртуть,— несодержащею воздуха и столь длинною, чтобы верхний конец ее выходил за пределы атмосферы (рис. 99). Тогда ртуть в трубке поднялась бы: давление ее как раз заменило бы собою давление воздушного столба *ac*. Но в описанном выше опыте, наполняя ртутью запаянную с одного конца трубку, мы лишь иначе достигаем той же самой цели, так как удаляем воздух из трубки.

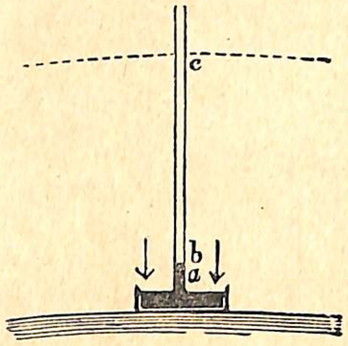


Рис. 99.

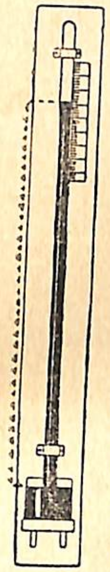
V. Барометры и манометры.

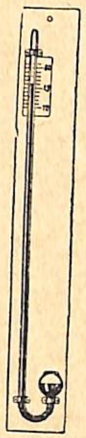
90. Трубка со ртутью, наполненная и опрокинутая в ртуть, как описано в предыдущем параграфе, с присоединением к ней делений («шкалы»), по которым отсчитывается высота ртутного столба, называется барометрической трубкой или барометром; деления его шкалы ныне всегда делаются по метрической системе — на сантиметры и миллиметры. На рис. 100 и 101 изображены обычно употребляемые ртутные барометры. Первый после вышесказанного не требует пояснений. Второй состоит из изогнутой трубки, в обеих ветвях которой налита ртуть; длинная ветвь запаяна и над ртутью не содержит воздуха. В обоих приборах атмосферное давление поддерживает тот столб ртути, который выше уровня ее в «чашечке» барометра; но в первом трубка погружена в самую чашечку, а во втором сообщена с нею нижним изгибом трубки.

Барометр — во многих отношениях замечательный прибор. Он тотчас покажет всякое изменение атмосферного давления: если давление уменьшится, то ртуть в барометрической трубке опустится, в обратном случае — поднимется. С барометром, изображенным на рис. 101, очень просто это проверить. Заткнув отверстие чашечки пробкой и трубкой, сообщим ее с воздушным насосом и слегка разредим воздух: ртуть уже сильно опустится. Напротив, даже при слабом сжимании

воздуха ртуть значительно поднимается. (Можно действовать и ртом вместо насоса.) Если в течение нескольких дней будем отмечать высоту ртутного столба в барометре, то увидим, что он бывает то немного больше, то немного меньше; иногда, впрочем, (редко) придется наблюдать очень долго, чтобы с уверенностью заметить изменение атмосферного давления [1]).

Вот эти изменения высоты ртути дают возможность «предсказывать» погоду. Но это вовсе не значит, что барометр — «предсказатель» погоды, как его частенько называют любители, привыкшие смотреть на висящий у них на стене круглый барометр в виде часов с надписями: дождь, хорошая погода, сушь, великая сушь и пр. Предсказывать погоду, и то лишь резкие перемены ее и за немного дней вперед, можно не иначе, как путем одновременного наблюдения над многими барометрами на большом пространстве несколько раз в сутки; сводка этих наблюдений затем делается на «метеорологических» обсерваториях, куда сведения передаются по телеграфу из отдельных «метеорологических станций» (иногда такие станции устраиваются при школах). Тогда удается посылать в приморские города по телеграфу «штормовые предостережения» за двое суток вперед; и уже много судов спасено ими от крушений. Эта система наблюдений, следовательно, очень отличается от обычного «смотрения» на барометр, надписи которого — надо заметить — сами по себе ничего не значат: на хороших, точных приборах их никогда не делают. Однако, если не обращать внимания на эти пустые надписи, а смотреть только на «ход барометра», т. е. на падение или повышение давления, то при достаточном навыке и в привычной местности можно получать некоторые полезные указания относительно близких перемен погоды. Вероятно, современем физики найдут способы предвидеть погоду за много дней; но эта необычайной важности для земледелия задача еще далеко не разрешена в учении об атмосферных явлениях (отдел физики, назы-


Рис. 100. Ртутный барометр.


Рис. 101. Ртутный барометр.

[1]) За неимением готового ртутного барометра можно обойтись и с наполненной по указанию § 88 барометрической трубкой, прочно установив ее в зажиме штатива в отвесном положении и отметив положение верхушки ртутного столба обвязанной вокруг трубки ниткой.

ваемый *метеорологией*). Кроме ртутного барометра, очень часто применяется металлический барометр со стрелкой—*барометр-анероид*, занимающий меньше места и очень удобный для переноски. Действие его основано на изменении формы упругой металлической коробочки при переменах атмосферного давления (рис. 102). Деления на таком барометре устанавливаются по ртутному.

91. Если в местности, лежащей на морском уровне, в течение долгого времени отмечать «барометрическую высоту», т.-е. высоту ртутного столба в барометре, и взять из этих наблюдений *среднее* арифметическое (сложить все записи и разделить

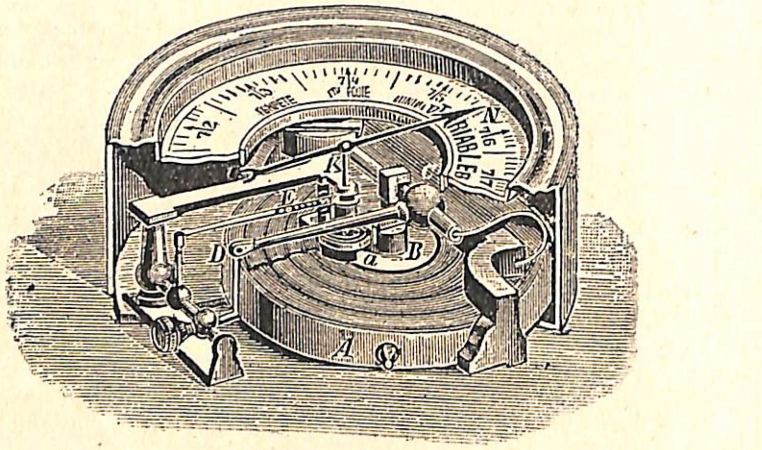


Рис. 102. Барометр-анероид.

сумму на число наблюдений), то получится высота около 76 *сантиметров* или 760 *миллиметров*. Такое давление воздуха называют давлением в *одну атмосферу* (или также *нормальным давлением*). Вот при таком именно показании барометра воздух давит с силою 1,03 *кг* на *квадратный сантиметр*, или $16^1/_3$ ф. на *квадратный дюйм*, а вода пойдет вслед за плотным поршнем в трубке на высоту 10,33 *м*, или 34 ф. Давление вдвое, втрое... большее называют давлением в 2,3... атмосферы, а вдвое, втрое... меньшее—давлением в $^1/_2$, в $^1/_3$... атмосферы.

Если с барометром *подниматься*, то он будет показывать все меньше и меньше. Это можно уже заметить, взойдя с пружинным (анероидным) барометром в верхний этаж высокого дома или на колокольню: если прибор исправен, то он покажет уменьшение давления на 1 *мм* примерно на каждые 10 метров

(5 саж.) поднятия. Нельзя ли этим способом узнать, *какова высота местности* над уровнем моря? Да, и большая часть сведений о высотах гор и горных долин, о которых вам сообщалось в географии, получены именно помощью барометрических наблюдений. Нужно только знать среднюю барометрическую высоту в данной местности; отсюда уже вычислением, по довольно сложным формулам, находят высоту ее над уровнем океана. Говоря вообще, давление воздуха на высоте 5 километров вдвое меньше, а на высоте 10 километров—вчетверо меньше, чем на уровне океана [1]. О высоте поднятия летательных машин и воздушных шаров обыкновенно тоже судят по показанию барометра. Вы видите теперь, как много полезного дает этот прибор; о нем можно было бы сказать еще гораздо больше, если бы это было к месту.

92. Когда хотят судить о *давлении воздуха, разреженного насосом*, пользуются *укороченным барометром*. Изогнутую трубку, одна ветвь которой запаяна и наполнена ртутью (ртуть частью находится и в другой ветви), присоединяют к воздушному насосу открытым концом (рис. 103). При достаточном разрежении воздуха ртуть начинает падать в запаянной ветви и подниматься в другой. То, насколько ртуть стоит выше в первой сравнительно со второй, т.-е. *разница уровней* в обеих ветвях, будет служить, как и в барометре (рис. 101), мерою давления (изображенного на рис. стрелкой). Положим, например, что мы достигли выкачиванием разницы в $9^1/_2$ *см*. Так как это число в 8 раз меньше 76 *см*, то давление разреженного воздуха составляет $^1/_8$ того, которое условно называют «одной атмосферой».

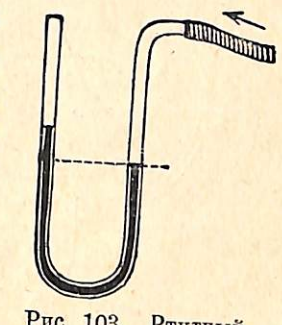


Рис. 103. Ртутный манометр.

Хорошими воздушными насосами с поршнем и клапанами разность уровней в ветвях описанного прибора доводится до 1 *мм* и меньше, так что давление воздуха в сосуде, из которого выкачивают, может стать раз в 1000 меньше обыкновенного атмосферного [2]. Но можно итти еще гораздо дальше. Например, в хорошем ртутном барометре пространство в трубке над ртутью содержит

[1] Среднее атмосферное давление на вершине самой высокой горы в Европе—Монблане,—418 *мм*, а на высочайшей вершине земного шара—Эвересте в Гималаях—уже только 235 *мм*.

[2] Приблизительное вычисление показывает, что если бы мы могли подняться верст на 50 над уровнем моря, то уже без всякого воздушного насоса имели бы такое разрежение воздуха.

лишь ничтожный остаток воздуха, разреженного в миллион и более раз против атмосферного. Это пространство условно принято называть барометрической пустотою; но оно далеко еще не пустота в точном смысле слова [1]).

На рис. 104 изображен широко распространенный металлический манометр. Его главная часть—латунная трубка, свернутая в один, два оборота. Один конец трубки укреплен неподвижно и сообщается с исследуемым пространством (например, паровым котлом), другой запаян и соединяется со стрелкой, движущейся по циферблату. Деления на металлическом манометре наносятся по ртутному манометру.

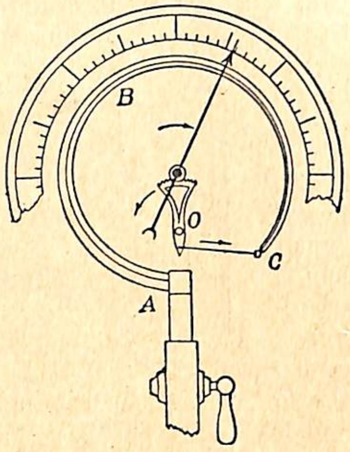


Рис. 104. Металлический манометр.

93. Вопросы. 1) Покажет ли барометр столько же внутри здания, имеющего крышу, как и снаружи на той же высоте? (Чтобы правильно ответить на вопрос, вспомним, что барометр показывает степень сжатости воздуха; сжатость же воздуха легко и быстро выравнивается чрез множество щелей и даже сквозь скважистую кирпичную кладку, § 27.)

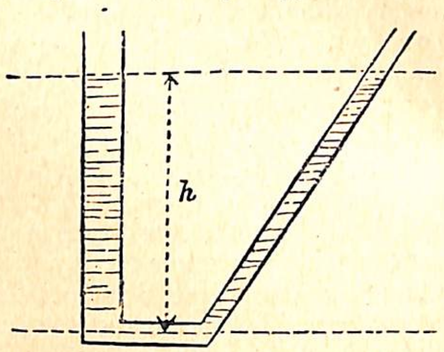


Рис. 105.

2) Если наклонить барометр, показывающий в отвесном положении 76 *см*, то останется ли длина ртутного столба та же самая? (Надо иметь в виду, что наклонный столб жидкости

[1]) В § 26 мы уже упоминали о чрезвычайной малости частиц или молекул, из которых состоят тела. В 1 куб. сантиметре всякого газа, находящегося под давлением в 1 атмосф. (760 *мм* по барометру) и при температуре таяния льда (0°) содержится около 27 триллионов молекул (27 с 18 нулями). Следовательно, в каждом кубическом сантиметре воздуха, разреженного даже в миллион раз против обыкновенного атмосферного, все еще содержится невообразимо большое число носящихся во все стороны молекул.

уравновешивается с отвесным, если вертикальная высота и того и другого одинакова, рис. 105.) Может ли длина ртутного столба достичь при этом, например, 2 метров, если взять достаточной длины трубку? Следовательно, чтобы показания барометра были правильными, в каком положении он должен находиться при отсчете?

3) Если отверстие чашечки барометра (рис. 101) плотно закрыть, то останется ли высота ртути прежняя? (Предполагается, что отверстие просто лишь закрыто, например, поворотом приделанного к нему крана, а не втиснутой в него пробкой.) Годится ли тогда прибор в качестве барометра?

4) Вычислить поточнее, чем это было сделано раньше (§ 22), во сколько раз воздух легче воды. Решение. Для этого надо поставить определеннее самый вопрос, именно условиться относительно степени сжатости (давления) воздуха и степени его тепла (температуры) потому, что с изменением последней воздух может расширяться и сжиматься. Предположим, что воздух находится под давлением в 1 атмосферу, т.-е., что барометр показывает 760 *мм*, и что воздух охлажден до температуры тающего льда (0°). Куб. дециметр (литр) такого воздуха весит почти 1,3 *г*, следовательно, воздух при этих условиях легче воды в $^{1000}/_{1,3}$ или 770 раз.

5) Во сколько раз такой воздух легче ртути? Ответ. В 770×13,6, или почти в $10^1/_2$ тысяч раз.

6) Какова будет разница в показании барометра у основания и на крыше высокого здания, например, в 100 метров (приблизительно высота Исаакиевского собора в Ленинграде)? Решение: Поднявшись с барометром на такую высоту, мы оставим под ним 100-метровый слой воздуха, который уже не будет давить на ртуть. Но ртуть в 10500 раз тяжелее воздуха (см. предъидущий вопрос); следовательно, давление 100-метрового столба воздуха такое же, как давление $10^1/_2$ тысяч раз меньшего ртутного столба. Разделив 100 метров, или 10000 см, на 10500, получим почти 1 *см*: настолько понизится ртуть в барометре. Подобные простые вычисления годятся только для небольших высот, на которых еще допустимо считать плотность воздуха одинаковой.

7) Положим, что воздух над землею имел бы всюду ту самую плотность, какую он в действительности имеет на уровне моря при барометрической высоте 76 *см* и при 0° (см. вопрос 4). Какова была бы тогда высота атмосферы, которая по своему давлению на морском уровне могла бы заменить действительно существующую? Ответ: Из рис. 99 прямо видно, что высота такой воображаемой атмосферы была бы во столько раз больше высоты ртути в барометрической трубке, во сколько раз воздух легче ртути, т.-е. в 10500 раз; следовательно, она была бы равна

76 $\times$ 10500 *см*, или всего 8 километров — вместо нескольких сотен километров.

8) Какой высоты столб винного спирта был бы поддержан давлением в 1 атмосферу, если заставить его подниматься в трубке вытягиванием плотного поршня (как выше — воду, рис. 84)? Вес спирта составляет $^4/_5$ веса равного объема воды. Ответ: 10,33 $\times$ $^5/_4$ метра = почти 13 метров.

9) Измеритель давления — манометр — у самого выхода главной трубы Ленинградского водопровода, под Смольном, показывает около 4-х атмосфер; что это значит? Скольким килограммам на $см^2$ стенки соответствует это давление? Ответ: 4 *кг* с небольшим на $см^2$.

10) Положим, измеритель давления, соединенный с котлом паровой машины, показывает 12 атмосфер (такие измерители давления со стрелкою — манометры — можно видеть при каждой паровой машине, при воздушном тормозе трамвайного вагона и пр.). С силою скольких килограммов на кв. см и пудов на кв. дюйм давит тогда горячий водяной пар изнутри на стенки котла? Ответ: Круглым счетом 12 *кг* на $см^2$ или $\frac{16 \times 12 \text{ ф.}}{40}$, т.-е. почти 5 пудов на кв. дюйм.

11) Выразить в атмосферах давление на почву кирпичной стены в 20 *м* (около 10 саж.) высотою, считая, что кирпичная кладка вдвое тяжелее воды. Решение: Давление 20-метровой стены такое же, как давление «водяной стены» в 40 *м* высоты, а это соответствует 4 атмосферам, так как 1 атмосфера соответствует давлению 10-метрового столба воды. (Интересно сравнить это с давлением пара в паровом котле, см. предыдущий вопрос.)

12) Положим, водолаз находится на глубине 70 метр. (35 саж.) под водою (это почти предельная глубина, на которую еще могут опускаться самые опытные водолазы). Сколько добавочных атмосфер — сверх обычного воздушного давления, которое, конечно, передается водолазу водою — должен выдержать водолаз на этой глубине? Во сколько раз, следовательно, общее давление больше привычного? Ответ: Общее давление в 8 раз больше атмосферного. Для ответа припомнить, что давление в 1 атмосферу равнозначно давлению 10-метрового (5-саженного) столба воды.

VI. Обзор и добавления.

94. Существование атмосферного давления, как прямого следствия тяжести и упругости воздуха, обнаруживается рядом простых и убедительных опытов (припомните некоторые из них). Атмосферное давление заставляет подниматься воду в обыкновенном (всасывающем) водяном насосе. Воздушный насос устройством клапанов схож с водяным, но по действию отличается от него тем, что воздух, расширяясь сам собою, выходит из сосуда под поршень, тогда как вода гонится в водяной насос давлением на нее наружного воздуха.

Величина атмосферного давления может быть найдена по высоте водяного столба, поддерживаемого им в трубке, из которой удален воздух: давление воды заменяет собою давление бывшего в трубке воздуха. Атмосферное давление изменчиво; средняя его величина на уровне моря такова, что им поддерживается столб ртути в 76 *см* или 30 дюйм. высотою. Это — давление в «одну атмосферу». При таком именно воздушном давлении приходится 1,03 *кг* на *см* ^{2} или $16^1/_3$ фунта на кв. дюйм — числа, которые обыкновенно округляют до 1 *кг* на *см* ^{2} и 16 фунт. на кв. дюйм. Отсюда легко вычислить давление на площадь любой данной величины (припомните примеры).

Барометр — прибор, показывающий перемены атмосферного давления: или изменяющеюся высотой ртутного столба, или (круглый барометр со стрелкою — анероид) перемещением стрелки. Показания барометра дают возможность предвидеть перемены погоды, но путем сложных наблюдений, имеющих очень мало общего с простым смотрением на этот прибор. С поднятием над уровнем моря барометр показывает все меньше; это дает возможность судить о высоте поднятия. Высоты множества местностей над уровнем моря вычислены на основании их среднего барометрического давления.

Давление воздуха, разреженного воздушным насосом, тоже узнается по высоте ртутного столба, который он еще может поддержать; также судят и о давлении воздуха более сжатого, чем атмосферный. Служащие для этого приборы называются манометрами; манометр при воздушном насосе — укороченный барометр.

Утонченными способами можно разредить обыкновенный воздух в миллион и более раз, но это еще очень далеко до совершенной пустоты. Повсеместным присутствием воздуха на земле и его давлением объясняется множество разнообразных явлений, которые в нашем житейском обиходе чаще всего истолковываются совершенно произвольным образом: разные случаи всасывания и присасывания, втягивание воды насосом, ртом и проч. (подыщите еще примеры).

История учения об атмосферном давлении настолько интересна, что заслуживает более подробного рассказа, что и составит содержание следующей главы.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ.

Закон Архимеда.

I. Плавание и всплывание в жидкостях.

95. Кусок дерева в воде всплывает, а не падает на дно, подобно камню или куску железа. Воздушный шар (аэростат) поднимается в облака, унося с собой людей и большой груз. Выходит, что тела как будто не всегда подчиняются силе тяжести, а иногда точно сами собою «стремятся вверх». Так часто и говорят, не считая нужным разобраться в деле ближе. Но физика учит нас внимательнее всматриваться и вдумываться в окружающее — находить настоящие, а не воображаемые причины явлений. Посмотрим же, в чем здесь дело.

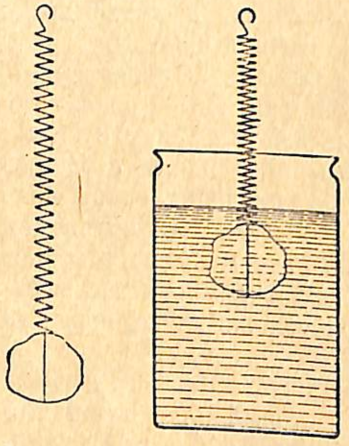


Рис. 106.

Каждому из вас знакомо усилие, которое нужно, чтобы плавающие на воде полено или доску втолкнуть глубже. Если палку отвесно погрузить в воду до конца и отнять руку, то палка выталкивается как бы подброшенная вверх. Точно также выталкивается водою насильственно вдавленный в нее стакан (дном книзу), полоскательная чашка; с большей силою выталкивается погруженное дном ведро (стоит попробовать!). Скажут: так и должно быть, раз тело плавает. Но опыт показывает, что не только плавающее — к а ж д о е тело с большей или меньшей силой выталкивается водою, и вот это-то и заслуживает особого внимания, так как ведет к разгадке. Если к спиральной пружине подвесить камень, достаточно тяжелый, чтобы пружина растянулась, и опустить камень в воду, то пружина заметно укоротится (рис. 106); она снова вытянется при вынимании камня из воды. Уравновешенная на весах гирька выталкивается при погружении в воду не хуже деревяшки (рис. 107). Но разве вы и сами не замечали чего-либо подобного летом, у реки, когда вам случалось вытаскивать из воды тяжелый камень? Привесьте кирпич к крючку пружинных весов, заметьте его вес и погрузите доверху в воду: весы покажут теперь гораздо меньше (12-фунтовый кирпич весит в воде не больше 6 фунтов). Ясно, что в о д а с т р е-

м и т с я п р и п о д н я т ь и камень, и гирьку; только вытолкнуть их вода почему-то не может...

96. Какова причина этой выталкивающей силы, или, как мы еще будем говорить, п о д д е р ж и в а ю щ е г о д а в л е н и я? Припомним опыты, показавшие нам, что жидкость д а в и т на погруженный в нее предмет со всех сторон, между прочим и с н и з у в в е р х (§ 75). Примем во внимание еще и то, что давление, например, на дно ведра, отвесно погруженного в воду, производится тяжестью тех частей воды, которые находятся в ы ш е дна. Конечно, и давление жидкости, которое мы назвали «поддерживающим», зависит от той же самой причины. В самом деле, посмотрите внимательно, и вы увидите, что всякое плавающее тело, как бы оно легко ни было, непременно сколько-нибудь да погружается под поверхность — вытесняет или замещает своей нижней частью некоторое количество воды (рис. 108 и 109). Даже самый легкий резиновый пузырь, надутый воздухом (мяч), не просто лежит на воде, а чуть погружается в нее (рис. 110). Если с о б р а т ь и в з в е с и т ь воду, которая вытесняется погруженной частью плавающего тела, то окажется, что она в е с и т р о в н о с т о л ь к о, с к о л ь к о в е с и т в с е т е л о. (Для собирания вытесненной воды служит кружка с отливной трубкой, см. рис. 41 на стр. 57.)

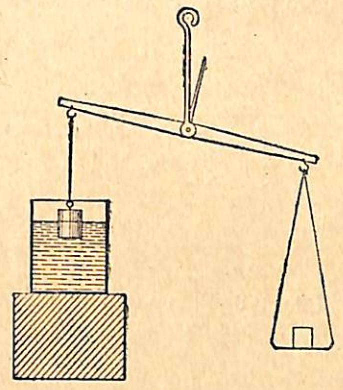


Рис. 107.

Выходит, что в е с п л а в а ю щ е г о п р е д м е т а п р о с т о з а м е н я е т с о б о ю в е с т о й в о д ы, которая раньше была на месте погруженной части предмета. Взгляните еще раз на изображение плавающего бревна (рис. 108.)

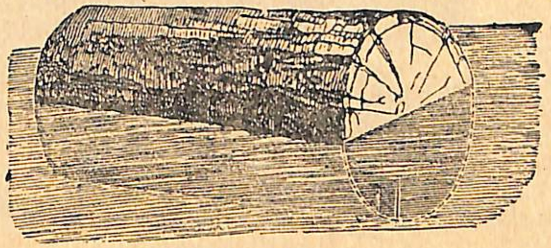


Рис. 108.

Пока оно еще не было погружено, та вода, которая на рисунке зачерчена, держалась среди окружающей воды. Подумаем — почему? Ведь она имеет вес и не удерживается никакими крючками по сторонам. Она именно п о д д е р ж и в а л а с ь д а в л е н и е м о к р у ж а ю щ е й в о д ы. Тем же самым давлением поддерживается и бревно, весящее столько же, как и замещенная им вода.

Комок мягкой глины (глиняного теста) в воде тонет. Сделаем из него достаточно большую чашку, и она будет плавать. Если комок глины весит, например, $^1/_4$ грамма, то и чашка весит столько же. Но чашка имеет такую форму, что вес воды, вытесняемой ее погруженной частью, может стать равным весу чашки

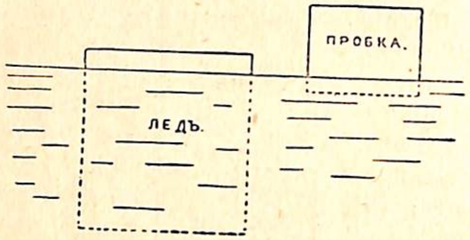


Рис. 109. Рисунок показывает, насколько погружаются плавающие в воде лед и пробка.

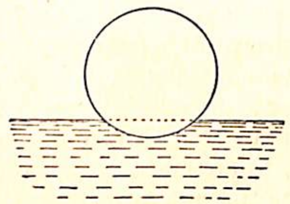


Рис. 110. Плавающий в воде резиновый мяч.

раньше, чем она опустится до краев. Она в состоянии будет удержать еще и некоторый груз—конечно, не больше того, от которого она погрузилась бы в воду вся. Точно так же будет плавать—как это ни странно звучит с первых слов—кусок

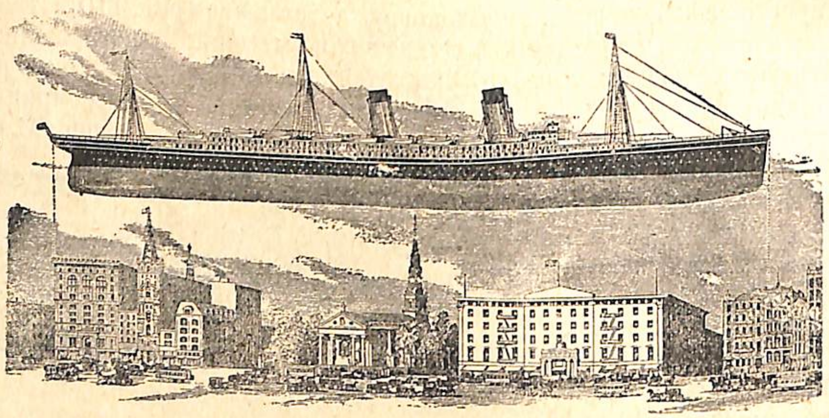


Рис. 111. Размеры океанского парохода.

жести, если ударами молотка немного углубить его посредине. Тонкий таз из белого железа, если погрузить его до краев, вытеснит несколько килограммов воды, тогда как сам весит может быть не более полкилограмма. Вот в чем **причина плавания тяжелых судов**, хотя бы покрытых толстой железной броней («броненосцев») и перевозящих огромные грузы. Вес

воды, вытесняемой погруженной частью судна, называется его «водоизмещением» и обыкновенно выражается в тоннах (тонна — 1000 *кг.* или 61 пуд.); это, следовательно, вес самого судна. Водоизмещение самых больших океанских пароходов достигает 50.000 тонн и больше, т.-е. бывает свыше 3 миллионов пудов. Рис. 111 дает понятие о размерах океанского парохода сравнительно с уличными постройками одного американского города (Нью-Иорка) и о глубине, до которой пароход погружается в воду. Мы видим, что под водой сидит лишь меньшая часть всего парохода. Напротив, плавающая льдина большей своею

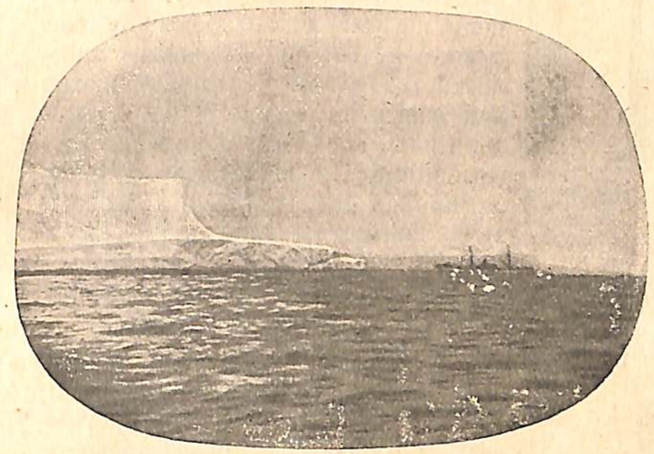


Рис. 112. Полярная льдина.

частью находится под водою: если она прямоугольной формы, то она погружается в воду примерно до $^9/_{10}$ всей своей высоты, как именно показывает рисунок 109. На рисунке 112 изображена одна из больших льдин, плавающих в полярных морях и уносимых иногда далеко от мест происхождения. Если льдина высится над водою на несколько десятков саженей, то она уходит под поверхность быть может на несколько сот сажен. Понятно, как трудно бороться судам с такими громадинами [1]).

97. Если тело плавает не в воде, а в другой жидкости, то, конечно, условие плавания остается то же: **вес тела рав-**

[1]) Затонувший в апреле 1912 года близ о-ва Ньюфаундленда от столкновения с пловучей ледяной скалою пароход «Титаник» (только что перед тем построенный) имел водоизмещение около 50.000 тонн и длину в $^1/_4$ километра.

няется весу жидкости, вытесняемой его погруженной частью. Но жидкость может быть тяжелее или легче воды, взятой в одинаковом объеме: в первом случае тело погрузится в нее менее глубоко, во втором глубже, чем в воде.

Это хорошо видно из опыта рис. 113. Морская вода, вследствие содержания соли, немного тяжелее пресной; и вот судно, выходя из устья реки в море, несколько приподнимается; зная это, заранее увеличивают соответственно его нагрузку. По степени погружения плавающего тела можно судить о плотности жидкости. Для этой цели применяются так называемые (рис. 114) *ареометры*, поплавки с нанесенными делениями; деление, до которого ареометр погружается в известной жидкости, указывает ее плотность.

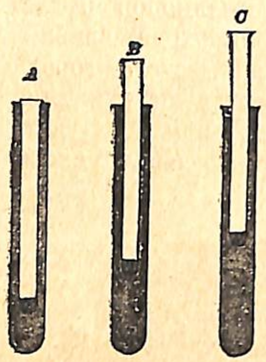


Рис. 113. Пробирка с дробью в жидкости различной плотности.

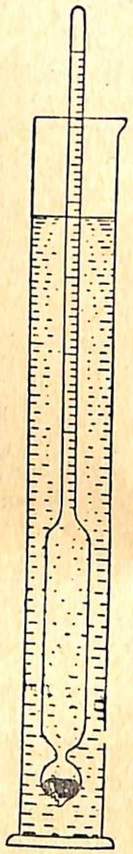


Рис. 114. Ареометр.

Что будет, если опустить тело в жидкость, которая *в равном* с ним объеме весит столько же, сколько весит тело? Оно должно погрузиться в него целиком, чтобы вытеснить равный своему вес жидкости. Можно, например, приготовить соляной раствор такой крепости, что опущенное в него свежее куриное яйцо (которое в воде тонет), останется как бы висеть в нем (рис. 115): своим весом оно в точности замещает равный ему вес раствора. То же самое можно сказать о рыбе, когда она, не шелохнув ни одним плавником, неподвижно — как бы застыв — держится под поверхностью. Не в таких ли условиях находится любая часть самой жидкости, которую мы мысленно выделили бы среди остальной его массы?



Рис. 115. Куриное яйцо в растворе поваренной соли.

98. Зададим себе теперь вопрос в более общем виде. Положим, что *какое-нибудь* тело погружено в *какую-нибудь* жидкость — так, что все находится *под ее поверхностью*. Когда оно потонет и когда всплывет? Мы только что пришли к выводу, что оно останется внутри жидкости, *если его вес равен весу замещенной им жид-*

кости: тогда «поддерживающее давление», стремящееся его вытолкнуть, как раз равно весу тела, влекущему его вниз. Не ясно ли теперь, что если тело весит *больше* веса равного ему объема жидкости, то оно *потонет*, если *меньше* — то *всплывет*? Выше мы уже видели, каким образом сравнивается между собою вес различных материалов — твердых и жидких — взятых в одинаковых объемах. Мы знаем, например, что железо круглым счетом в 8 раз тяжелее воды, а ртуть — в $13\frac{1}{2}$ раз. И вот железные гвозди плавают на ртути, как щепки на воде; прямоугольный железный брусочек погружается в ртуть немного глубже середины, как в воде сосновая доска.

Вес льда составляет $^9/_{10}$, а винного спирта $^4/_5$ веса воды в равном объеме. Лед в воде плавает; будет ли он плавать в спирте?

Итак, тело тонет, всплывает или остается внутри жидкости, смотря по тому, каков его вес сравнительно с весом равного ему объема жидкости: больше, меньше или одинаков с ним.

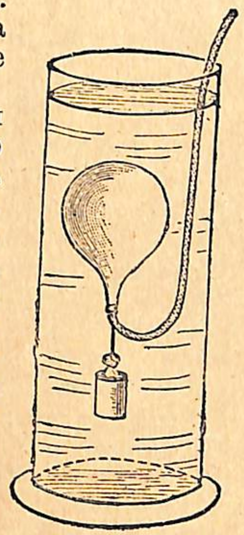


Рис. 116.

99. Положим, что тело затонуло в воде; *как заставить его всплыть?* Можно, конечно, если это осуществимо, разгрузить его, т.-е. уменьшить его вес. Но можно, и не изменяя веса, *увеличить поддерживающее давление* воды, сделав так, чтобы тело вытеснило собой больше воды, — а для этого надо *увеличить его объем* (см., например, опыт с резиновым пузырем, рис. 116). Так удается поднимать из воды тяжелые суда, затонувшие на небольшой глубине, какая еще доступна для водолазов: прикрепив к судну со всех сторон брезентовые мешки, раздувают их накачиванием воздуха. Здесь любопытно то, что предмет поднимается из воды действием *той же самой причины*, от которой он затонул, так как выталкивающее давление воды тоже есть следствие *силы тяжести*. Распознав, при каких условиях действие этой силы проявляется желаемым для нас образом, мы пользуемся нашим знанием для практических целей. *Знать — значит и предвидеть.* Вот где сила человека в его борьбе с природой.

100. Сделаем еще несколько опытов в добавление к предыдущим. Не случалось ли вам видеть «американского жителя»? Если да, то опыт рис. 117 хорошо напоминает вам о нем. Наша скляночка — тот же «житель», правда, не смешной, но зато проще и понятнее. Обыкновенные сорта дерева в воде плавают, потому

что дерево скважистое и в скважинах содержит воздух; **самый же материал дерева — древесина — тяжелее воды.** Чтобы в этом убедиться, стоит только положить несколько спичек с отломанными головками в склянку с водой и хорошенько разредить в ней воздух: спички станут тонуть (для успеха опыта надо выкачивать довольно долго). Чем вы объясните то, что доски и бревна тонут, если очень долго мокли в воде? Наконец, рис. 118 указывает на замечательный опыт, из которого видно, что жидкость, если бы на нее действовали посторонние причины, принимала бы шаровидную форму, о чем мы говорили в § 35.



Рис. 117. Если надавить пальцем на резиновую пластинку, которой затягивается отверстие цилиндра, скляночка потонет; и при прекращении давления она снова всплывает.

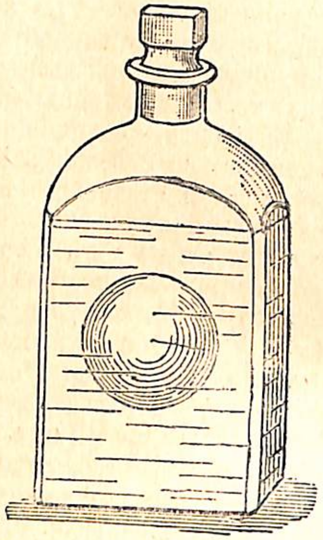


Рис. 118. Масляный шар в смеси спирта и воды.

101. Вопросы. 1) — A) Железный ящик, дно которого равно 1 $м^2$, а высота больше 1 *м*, погружают, держа стенки отвесно, в воду на столько, чтобы дно было на глубине 1 *м* под поверхностью. С какой силой вода будет выталкивать ящик? Решение. Положим, что дно ящика вдруг убрано: тогда в него давлением окружающей воды будет поднят 1 $м^3$ воды (пусть стенки ящика так тонки, что толщину их можно не принимать в расчет). Но 1 *м* воды весит 1 тонну; значит, с такой силой вода давит снизу и на дно ящика. B) С какой силой будет выталкиваться водой ведро (12,3 литра), погруженное в отвесном положении до самых краев? Ответ: С силою 12,3 *кг*. C) Дополнить ответы, приняв в расчет вес ящика и ведра.

2) Если тело погрузить **на одну и ту же глубину** под поверхность в ведро с водою, в пруд, или в глубокое озеро, то будет ли давление воды на тело одинаково или нет? Каково назначение той части жидкости, которая находится **под** телом?

3) Таз весит 2 *кг* и имеет такие размеры, что, будучи вдавлен в воду до самых краев, вытесняет 8 *кг* воды. Сколько *кг* надо положить в таз, чтобы он весь погрузился в воду?

4) Железный прямоугольный ящик, весящий 5 *кг*, имеет следующие наружные размеры: 40 *см* длины, 30 *см* ширины и 25 *см* высоты. Какая нагрузка вдавит ящик в воду до краев? Ответ: 25 *кг*.

5) Сколько пудов весит пароход, которого водоизмещение 10000 тонн, 30000 тонн?

6) Если человек, весящий 65 *кг*, войдет в лодку, то насколько увеличится вес вытесняемой лодкой воды?

7) Сколько человек, считая вес каждого в среднем за 4 пуда, поместившись на баржу длиною в 40 *м* и шириною в 12 *м*, заставят ее погрузиться глубже прежнего еще только на 20 *см*? Решение: Баржу можно считать за прямоугольный ящик, дно которого содержит 40×12 $м^2$; если ящик садится глубже на 20 *см* (0,2 *м*), то вытесняет сверх прежнего еще $40 \times 12 \times 0{,}2$ $м^3$ воды, которая весит (так как 1 $м^3$ весит около 1 тонны) $40 \times 12 \times 0{,}2$ тонн или примерно 6000 пудов. Таков должен быть и вес нагрузившей баржу толпы: это вес почти 1500 человек.

8) На весах уравновешены два сплошные тела одинакового веса: стеклянное и железное; нарушится ли равновесие, если опустить эти тела в воду? Которое перетянет? (Чтобы ответить на вопрос, подумайте, которое из двух тел при равном весе имеет бо́льший объем. Но тело большего объема замещает собою и больший вес воды. Следовательно которое из двух тел с большей силой поддерживается водой?)

9) На весах уравновешены две одинаковых по весу и материалу гири; останутся ли весы в равновесии, если одну гирю опустить в воду, а другую в винный спирт? (Припомните, что сила, с которою жидкость поддерживает тело, тем больше, чем самая жидкость тяжелее.)

10) У большинства рыб есть внутри плавательный пузырь, объем которого рыба может увеличивать и уменьшать. Полагают (в этом, однако, не все согласны), что назначение его — изменять объем тела рыбы. Что произойдет с рыбой, держащейся на определенной глубине, если она действием плавательного пузыря увеличит или уменьшит свой объем? (Изменится ли от этого вес рыбы? А поддерживающее давление на нее со стороны воды?)

11) Тело человека обыкновенно немного тяжелее равного объема воды [1]). Чего достигаем мы, набирая в себя при плавании воздух? (При чем тут собственно воздух? Если бы мы могли увеличить объем грудной полости как-нибудь иначе, не вбирая воздуха, то была ли бы цель достигнута?) Почему спокойно держаться у поверхности воды легче всего на спине? (Принять во внимание, что тогда все наше тело, кроме небольшой части лица, может находиться в воде.) Кому надо меньше усилий, чтобы держаться на воде—полному человеку или худому, если вес их одинаков?—Одинаково ли легко держаться на воде в мелком пруду, или в глубоком озере? (Ответ на этот вопрос связан с ответом на № 2.)—Почему при плавании помогают поплавки из пробки, камыша или надутые воздухом пузыри? Может ли спасательный поплавок удержать на воде любое число ухватившихся за него людей?

12) Какая часть прямоугольной ледяной глыбы выставляется над водной поверхностью? Решение. Вес воды, вытесняемый погруженной частью глыбы, равен весу всей глыбы; но вес льда составляет $^9/_{10}$ веса равного объема воды; следовательно, чтобы вытесненная вода весила столько же, как и ледяная глыба, объем этой воды должен составлять $^9/_{10}$ объема глыбы. Итак, лишь $^1/_{10}$ всей льдины будет выставляться над поверхностью. (См. выше рис. 109.)

II. «Плавание» и «всплывание» в воздухе и других газах.

102. Газ стремится, подобно жидкости, вытолкнуть вверх тело, которое в него погружено—с тем большей силою, чем больше объем тела и чем газ плотнее (тяжелее). Если тело весит меньше, чем вытесняемый им объем газа, то оно будет в нем подниматься, всплывать, как деревяшка или масло всплывают в воде. Вот несколько опытов, отличающихся от тех, которые выше были сделаны с жидкостями, только заменою последних воздухом и другими газами. Первый (рис. 119) показывает, что тело поддерживается воздухом тем сильнее, чем больше объем тела. Второй (рис. 120)—что поддерживающее давление в газе, который тяжелее воздуха, больше, чем в воздухе. Третий (рис. 121) повторяет в малом виде поднятие аэростата.

[1]) Человека, погруженного в воду, другой может удержать слабым подпиранием снизу одной рукой; чтобы самому держаться на воде, нужно лишь ничтожное усилие рук и ног. Поэтому научиться плавать гораздо легче, чем думают те, которые почему-то боятся воды.

Наконец, четвертый (рис. 122) поясняет, как стал бы перетекать или «переливаться» в воздухе газ, который легче воздуха, из одного сосуда в другой (а как вы думаете?)



Рис. 119. В склянку нагнетают воздух, закрывают ее зажимом, присоединяют резиновый пузырь и уравновешивают на весах. Открывают зажим: пузырь раздувается, а чашка весов со склянкой поднимается.

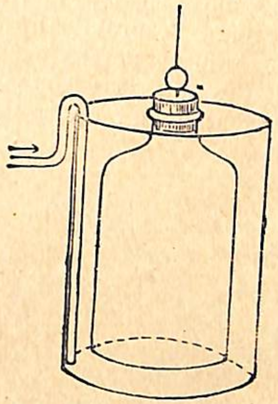


Рис. 120. Натуго закрытая склянка, подвешенная к чашке весов и уравновешенная противовесом, поднимается при опускании в банку с углекислым газом.

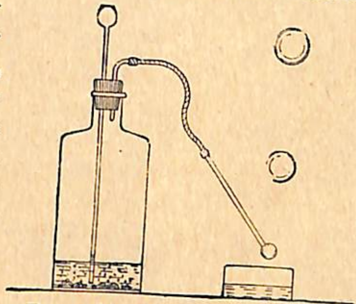


Рис. 121. Поднятие мыльных пузырей, наполняемых водородом.

103. На рис. 123 изображен поднявшийся в воздух аэростат. Каково условие, при котором он будет подниматься? Конечно, то же, как и для тела, всплывающего в жидкости: аэростат с наполняющим его более легким, чем воздух, газом и всеми приспособлениями должен весить меньше равного объема воздуха: если он поднимает нескольких воздухоплавателей, то, надо, конечно, присчитать и их вес. Большие шары обыкновенно наполняют светильным газом, который в $2^1/_2$ раза легче воздуха, а меньшие—водородом (легче воздуха в $14^1/_2$ раз). Чтоб можно было по желанию подниматься все выше и выше, берут с собою «балласт» (груз) из мешков с песком, который по мере надобности высыпают. Чтобы заставить шар опускаться, понемногу дают выходить из него легкому газу, открывая особый затвор или «клапан».

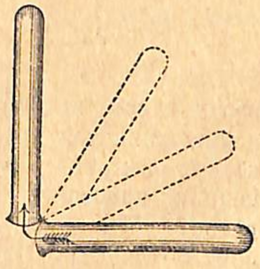


Рис. 122.

Прошло время, когда аэростат описанного устройства служил человеку единственным способом пускаться в плавание по без-

брежному воздушному океану и когда он был полною игрушкою ветра. Много интереса к делу и самопожертвования требовали некоторые дальние воздушные путешествия, ставшие знаменитыми в истории воздухоплавания, и не раз кончавшиеся гибелью смельчаков; о них стоит почитать особо. Но вот уже больше четверти века, как научились строить управляемые аэростаты («дирижабли»), снабжая их машинами — двигателями (вроде паровых) с толкающей вперед вертушкой вроде «судового винта» или колеса с крыльями ветряной мельницы («пропеллер»); для изменения направления служат рули. Теперь строятся огромные воздушные корабли этого рода (см., например, рис. 124), поднимающие большие грузы и могущие итти даже против крепкого ветра.

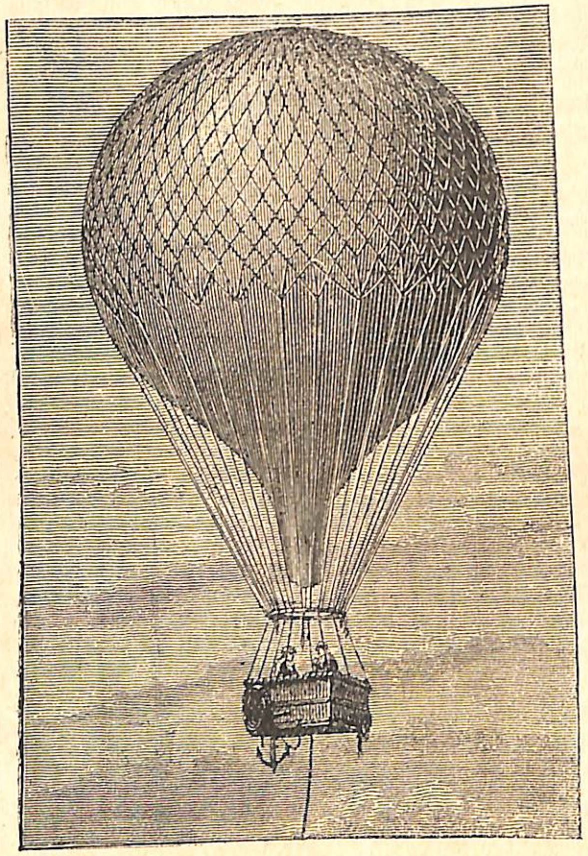


Рис. 123. Аэростат.

104. Вопросы. 1) Если вас спросят, что тяжелее: фунт пробки или фунт свинца, то, говоря по правде, как вы должны ответить, приняв во внимание, что на практике тела ведь всегда взвешиваются в воздухе? Положим, вы уравновесили на весах кусок пробки куском свинца. Который из них сильнее поддерживается воздухом? (Одинаков ли их объем?) Если воздух вокруг весов удалить (разредить) — поместив их под колпак насоса и выкачивая воздух — сохранится ли равновесие? Что перетянет: пробка или свинец? (Сравните с вопросом 8, стр. 121). Что было бы, если бы, наоборот, пробка и свинец были уравновешены в пустоте и потом весы перенесены в воздух

или уравновешены в воздухе и помещены в более тяжелый газ, например углекислый [1])?

2) Часто говорят, что водород, как очень легкий газ, «стремится» вверх. Но водород сам по себе, как всякое иное тело на земле, подвержен действию тяжести, влекущей его **вниз**. Подумайте, как правильнее было бы говорить в подобных случаях?

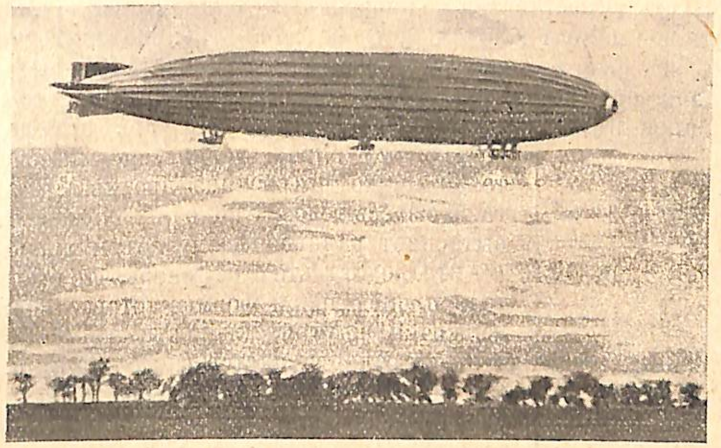


Рис. 124. Дирижабль.

III. Общий закон рассмотренных явлений.

(Закон Архимеда.)

105. Все, что выше говорилось о плавании тел в жидкости или газах, о том, почему одни тела тонут, другие всплывают, а третьи держатся под поверхностью,— все это можно выразить в нескольких словах, если понять главный закон рассмотренных явлений, которые с первого раза кажутся столь различными. Разберем по порядку, в чем тут дело.

1) Когда тело плавает на поверхности жидкости—непременно отчасти погружаясь в нее—оно как бы теряет весь свой вес: оно

[1]) Конечно, разница в весе тела в воздухе и пустоте обыкновенно так мала сравнительно с весом самого тела, что чаще всего не идет в счет. Но самое точное взвешивание при научных исследованиях все же приходится делать в помещении, из которого по возможности удален воздух, или же находить вычислениями, сколько надо прибавить к найденному в воздухе весу, чтобы получить вес тела в пустоте.

поддерживается жидкостью с силой, которая как раз равна его весу. Так точно для вашей руки потерял бы свой вес пудовый чемоданчик, если бы ваш товарищ подпирал его снизу с силой одного пуда. Но мы видели, что жидкость, вытесняемая погруженной частью плавающего тела, весит столько, сколько весит само тело. Выходит, что давление жидкости вверх, поддерживающее тело, равняется весу вытесненной телом жидкости.

2) Пусть тело остается под поверхностью жидкости, как, например, куриное яйцо в соленом растворе (рис. 115): оно опять теряет как бы весь свой вес, следовательно, поддерживается силою, которая равна его весу. Но оно ведь заменило своим весом вес вытесненной им жидкости, следовательно давление, его поддерживающее, опять равняется вытесненной телом жидкости (разница против № 1 только та, что здесь тело все находится в жидкости— вытесняет равный своему объем жидкости).

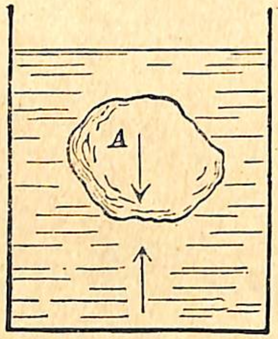


Рис. 125.

3) Представьте себе теперь, что вы имеете тело произвольной формы, которое спокойно держится внутри жидкости (рис. 125), и что оно отчасти пустое (полое) внутри, так что внутрь можно прибавить груза. Если увеличить его нагрузку, то изменится ли от этого **давление на него окружающей жидкости**? Надо полагать, вы ответите: нет. Ведь размеры тела с наружной поверхности, где оно именно соприкасается с жидкостью, останутся совершенно те же. Правда, теперь оно уже станет **тонуть**, но именно оттого, что оно сделалось тяжелее, что увеличилась сила, влекущая его вниз; поддерживающее же давление со стороны жидкости очевидно осталось то же самое. Если бы, наоборот, вы разгрузили тело, то оно стало бы **всплывать**, потому что вы уменьшили силу, тянущую его книзу; но поддерживающее давление жидкости опять-таки не могло от этого измениться. Итак, выходит, что **во всех рассмотренных случаях** тело поддерживается жидкостью с силою, которая равна весу вытесненной им жидкости. Еще какой-нибудь случай, который потребовал бы нового разбора, уже не придумаешь. Таким образом мы приходим к самому общему выводу — следующему закону:

Тело, погруженное в жидкость, испытывает с ее стороны выталкивающее или поддерживающее давление, которое равно весу вытесненной им жидкости; другими словами, оно в жидкости как бы становится легче — легче настолько, сколько весит вытесненная жидкость. (Этими другими словами действительно нередко и выражают закон; только надо помнить, что потеря веса—лишь кажущаяся.) Конечно, к слову «жидкость» можно добавить «или газ». Таким образом закон принимает самую общую форму, применимую и к жидкостям, и к газам.

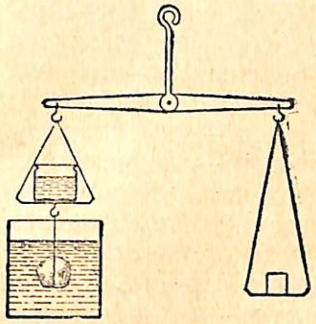


Рис. 126.

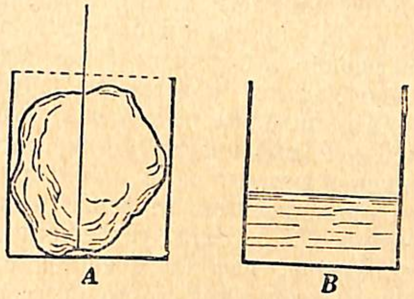


Рис. 127.

106. Вот два простых опыта, хорошо поясняющих смысл этого очень важного в физике **закона Архимеда** (названного так по имени открывшего его древнегреческого ученого).

К чашке весов с укороченными шнурками подвешивают на нитке камень, а на чашку ставят широкую низкую баночку немного большей вместимости; все это тарируют. Сняв камень, погружают его в кружку с отливным носком и собирают вытесненную воду во взятую с весов баночку. Потом снова подвешивают камень, погружают его в подставленный сосуд с водою, а на чашку с укороченными шнурками помещают баночку с собранной водой: равновесие восстановляется (рис. 126). Подбирают камень, который приблизительно заполнял бы собою внутренность небольшого стеклянного стакана. Опустив камень на нитке в стакан, наливают последний до краев водою (*A* рис. 127). Затем осторожно вынимают камень: вода опустится, и над нею освободится в стакане пространство, **равное объему камня** (*B*). Теперь ставят стакан на чашку с укороченными шнурками, привешивают к ней же снизу камень и уравновешивают. Если погрузить камень в подставленный сосуд с водою

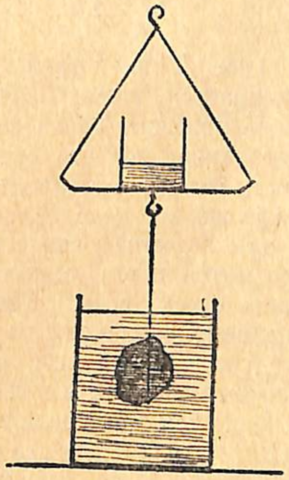


Рис. 128.

(рис. 128), то тара перетянет, и для восстановления равновесия придется долить стакан с водою *доверху*, т.-е. прибавить вес воды, взятой в объеме камня.

107. После всего, что мы узнали в трех последних главах, взгляните еще раз на ряд таких явлений, как падение камня, втягивание воды насосом, всплывание дерева, поднятие аэростата. Неправда ли с первого взгляда всякому они покажутся совершенно различными? И однако, в действительности они, можно сказать, родственны друг другу: все это лишь разные проявления одной и той же основной причины — тяжести тела. Сперва можно подумать — часто так и думают, — что некоторые легкие предметы сами собой стремятся вверх, пожалуй даже, что они отталкиваются от земли; а темный, невежественный человек, при виде аэростата, уносящего людей за облака, пожалуй даже отплюнется, как от нечистой силы, но, ознакомившись с делом ближе, — чему так много способствуют опыты, — всякий увидит, что никакого стремления вверх нет, а что тела просто выталкиваются кверху более тяжелой средою — водой или воздухом, которые занимают их место.

IV. Обзор и добавления.

108. Тело, погруженное в жидкость, всегда более или менее выпирается, выталкивается жидкостью, стремящеюся, вследствие своей тяжести, снова занять его место. Когда вес тела меньше выталкивающей его силы или поддерживающего давления, оно всплывает, и вот это-то и обращает на себя наше внимание; когда же вес тела больше поддерживающего давления, тело тонет, и нам кажется, что его ничто не поддерживает; но жидкость стремится и его вытолкнуть: тело в жидкости как бы теряет часть своего веса. Если вес тела как раз равняется поддерживающему давлению, то тело остается в покое под поверхностью жидкости; оно своим весом в точности заменяет или замещает вес вытесненной им жидкости. То же самое относится к телу, плавающему на поверхности, с тою лишь разницей, что своим весом оно замещает вес той жидкости, которая вытеснена *погруженной его частью*.

Вообще тело тонет, всплывает или остается внутри жидкости, смотря по тому, каков его вес сравнительно с весом равного объема жидкости: больше, меньше или одинаков с ним. Уменьшая вес тела или увеличивая его объем, т.-е. вес вытесняемой им жидкости, а значит—и поддерживающее давление, можно заставить всплыть затонувшее тело — действием той причины, от которой оно затонуло, т.-е. силы тяжести.

Кажущаяся потеря веса тела в жидкости и есть следствие поддерживающего давления на него со стороны жидкости. Если я несу пудовый чемоданчик и кто-нибудь подможет мне с силою 30 фунтов, то настолько именно чемодан покажется мне легче, как будто бы его вес был всего 10 фунтов.

Все это в точности относится также к телу, окруженному газовой средой, и поднятие аэростата в воздухе есть настоящее всплывание. Любое тело всплыло бы в воздухе, если бы мы могли, выскребая изнутри его материал и не впуская воздуха, достичь того, чтобы оставшаяся оболочка сделалась легче равного объема воздуха; или, если бы, не изменяя веса тела, мы достаточно увеличили бы его объем.

Все тела на земле «стремятся падать», т.-е. двигаться отвесно вниз, по направлению к центру земного шара; кажущееся стремление легких тел вверх вполне объясняется тем, что они выталкиваются окружающей их более тяжелой средою (водою или воздухом), которая занимает их место. Так точно легкий груз на чашке весов перевешивается более тяжелым, лежащим на другой чашке.

Все это, вместе взятое, находит краткое и точное выражение в следующем *законе: тело, погруженное в жидкость (или газ), поддерживается силою, которая равна весу вытесненной телом жидкости (или вытесненного газа). Кажущаяся потеря веса именно равняется величине поддерживающей силы.*

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ.

О движении вообще и о движении тел под действием силы тяжести.

I. О движении и сопротивлениях движению.

109. Ознакомившись с физическими телами вообще и с некоторыми явлениями тяжести, бросим взгляд на движение тел и на то, как они движутся близ поверхности земли, т.-е. под действием силы тяжести; последнее поможет нам несколько расширить и наши сведения об этой силе.

С движением мы имеем дело на каждом шагу. Не говоря уже о множестве бьющих в глаза примеров, можно обнаружить в окружающих нас предметах движения, которые останутся незаметными для поверхностного наблюдателя. Так толчок, удар производит сотрясения, которые распространяются по всем соседним телам. При всяком изменении температуры (нагревании или охлаждении)—а оно почти непрерывно происходит в окружающих нас телах — относительное расположение частей тела изменяется. Невидимые мельчайшие частицы тел — молекулы — находятся в вечном движении, и т. п. Движется наша земля со всеми находящимися на ней предметами, движутся другие планеты (подобные земле—около оси и вокруг солнца), движется самое солнце; оно вращается около оси и перемещается в пространстве вместе со всей планетной системой. Звездный мир, представляющийся нашему взору как бы застывшим в вечной неподвижности, на самом деле тоже находится в непрерывном движении: относительное расположение звезд, группирующихся в так называемых созвездиях, с течением веков и тысячелетий изменяется. Звезды отделены от нас огромными расстояниями: вот причина, почему их движение обнаружить было очень трудно, и почему они издавна считались «неподвижными» [1]).

Все в природе движется, и о «покое» можно говорить лишь условно. Рассматривая движения на земной поверхности, мы обыкновенно считаем, что самая земля находится в покое, и называем неподвижным всякий предмет, положение которого относительно земли не изменяется. Но мы увидим в конце этой главы, что есть ряд явлений, в которых нельзя не считаться с движением земли.

110. Если тело в равные, произвольно выбранные промежутки времени проходит пути одинаковой длины, то говорят, что оно движется с неизменною скоростью, а самое движение называют *равномерным* [2]); в противном случае—движение *неравно-*

[1]) Нелишним будет заметить, что речь здесь идет не о тех кажущихся перемещениях светил по небесному своду, которые происходят от суточного вращения земного шара около оси и годового его обращения вокруг солнца.

[2]) Прибавка «произвольно выбранные» устраняет возможность одной довольно обычной ошибки в оценке равномерности движения. Многие движения, представляющиеся на первый взгляд равномерными, не удовлетворяют условию равномерности для малых промежутков времени. Так, железнодорожный поезд, делающий по 30 верст в час, не непременно проходит при этом по $1/2$ версты в каждую минуту. Движение стрелки часов по циферблату, казалось бы равномерное, на самом деле совершается мелкими скачками, и т. п.

мерно. Кроме того, смотря по виду пути, проходимого телом, мы отличаем движение *прямолинейное* от *криволинейного*.

Равномерное прямолинейное движение было бы движение с постепенною скоростью в одном и том же направлении. Укажите примеры движений, более или менее к нему приближающихся. Движений, которые были бы в точности прямолинейными и равномерными, вы не найдете: множество разных причин изменяют, хотя бы и немного, или его скорость, или направление, или то и другое вместе. Равномерное прямолинейное движение, строго говоря, есть движение воображаемое. Так, ведь мы воображаем себе и «прямую» линию, и «круг», которые изучаются в геометрии: в обстановке действительности нет ни совершенно точной («геометрически-точной») прямой, ни совершенно точного круга.

111. Все движения на земной поверхности очень усложняются различными препятствиями или *сопротивлениями*, которые тело неизбежно встречает на своем пути. Прежде всего *трением* о поверхность, по которой тело движется. Каждый знает, как трудно волочить груз по рыхлой земле или по песку сравнительно с тем, когда тот же груз лежит на гладком льду или на повозке, которая катится по рельсам. Но и самое гладкое по поверхности тело имеет неровности, которых нельзя устранить никакой полировкой: взаимно сталкиваясь, они неизбежно задерживают движение. *Сопротивление воды* движению лодки или парохода—примеры тоже общеизвестные. *Воздух* также оказывает сопротивление движущимся в нем предметам. Взмахните посильнее большим куском картона плашмя, и вы почувствуете очень заметное противодействие воздуха; при достаточно быстром взмахе картон погнется, а то и сломается. С раскрытым большим зонтом быстро не пробежишь. При быстрых движениях скорого поезда железной дороги, артиллерийского снаряда—сопротивление воздуха может стать весьма большим. Очень мелкие предметы — пылинки, твердые и жидкие частички, составляющие дым, мельчайшие водяные частички тумана (облака)—держатся в воздухе, падая лишь чрезвычайно медленно, именно вследствие сопротивления воздуха.

Сопротивление воздуха и сила тяжести оказывают влияние на все движения, происходящие вблизи земной поверхности. Учесть их влияние и прийти к правильным выводам можно только не иначе, как внимательно наблюдая окружающее и вдумываясь в те повторяющиеся обстоятельства движения тел, которые, сделавшись привычными, почти что перестают обращать на себя наше внимание.

*

II. Закон инерции.

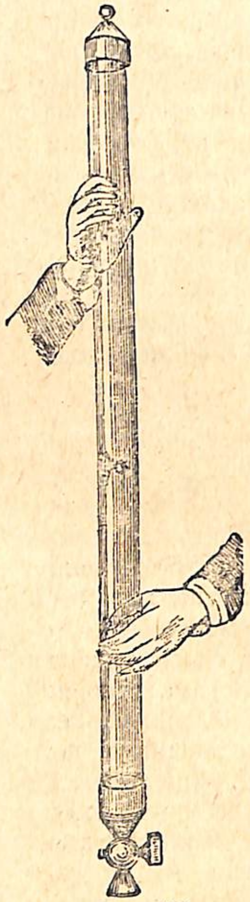
112. Тела (неодушевленные) начинают двигаться не иначе, как от действия других тел. Стремление тел падать мы объясняем себе тем, что они «притягиваются» землею, т.-е. приписываем движение падающих тел тоже некоторой внешней причине—действию земли. Но может ли тело, приведенное в движение, само собою остановиться или каким-либо образом изменить то движение, которое было ему сообщено? Положим, что тело получило толчок, заставивший его двигаться по горизонтальной плоскости. В таком случае оно, как известно, сохраняет сообщенное ему движение лишь некоторое время: оно движется с постепенно уменьшающейся скоростью и наконец останавливается. Всякий знает, что от одинакового толчка тело пройдет тем больший путь, чем меньше препятствий оно встречает на своем пути, например—чем глаже плоскость, по которой оно катится. Однако, как бы гладка ни была плоскость, оно все-таки остановится. Отсюда как бы выходит, что тело, получившее толчок извне, «стремится к покою»; так некогда и полагали. Но внимательное наблюдение и размышление учит нас иному. В самом деле, движение предмета встречает сопротивления (трение о плоскость, сопротивление воздуха), которые никогда не могут быть вполне устранены. Всякий раз, когда сопротивления уменьшаются, движение длится дольше, и не видно причины, почему бы оно могло прекратиться само собою: единственную и достаточную причину этого мы всегда находим в неизбежных сопротивлениях. То же самое можно сказать при внимательном наблюдении и о направлении движения: тело само собою никогда не изменяет сообщенного ему направления. Таким образом, если бы тело, получив толчок, было затем предоставлено только самому себе, то оно продолжало бы двигаться, не изменяя ни скорости, ни направления, которые были ему сообщены, т.-е. продолжало бы двигаться равномерно и прямолинейно, пока на него не подействовали бы какие-либо внешние причины. Хотя мы и не можем проверить этого положения прямыми наблюдениями, тем не менее нельзя сомневаться в его правильности, потому что оно подтверждается всеми выводимыми из него следствиями. Тело само по себе не стремится ни к покою, ни к движению: ему лишь свойственно сохранять то состояние (покоя или равномерного прямолинейного движения), в котором оно находится. Под именем закона или начала инерции это положение составляет одно из оснований механики—науки о движении и его причинах.

Как часто мы имеем дело с движением тел «по размаху»! Говоря другими словами, это и есть движение по инерции: раз начавшееся движение продолжается само собою, пока не прекратится вследствие обычных сопротивлений. Скатившись на санках с горы, мы долго еще движимся по гладкому льду. Запнувшись при быстрой ходьбе, мы падаем, и именно вперед—по направлению, в котором продолжает двигаться туловище, когда ноги уже задержаны. Как трудно бывает при быстром беге сразу повернуть в сторону: точно что-то постороннее влечет нас вперед. Особенную ловкость проявляет в подвижных играх тот, кто сообразует свои мышечные усилия с этим «стремлением» тела продолжать сообщенное ему движение. Все это очень знакомо. Но от этих обычных движений «по инерции»—очень большой шаг до «закона инерции»: ведь он говорит, каково будет движение тела, на которое не действуют никакие внешние причины—ни ускоряющие, ни замедляющие, ни изменяющие направление движения. Такое движение можно себе лишь представить, но нельзя осуществить.

III. Движение падающих и брошенных тел.

113. Камень падает с крыши. Равномерно его движение или нет? Каждый ведь знает, что камень ударяется о землю с тем большей силою, чем с большей высоты он упал: в этом ответ на вопрос. Движение падающего камня несомненно—ускоряющееся. Непрерывное действие на него силы тяжести ускоряет движение,—подобно тому как тяга паровоза ускоряет движение поезда, отходящего от станции. Раз сообщенная телу скорость сохраняется им по инерции, но продолжающимся действием силы прибавляется все новая и новая. А существует ли сопротивление движению падающего камня? Конечно—всюду и всегда: противодействие воздуха. Но оно слишком незначительно, чтобы заметно сказываться на падении тяжелых предметов с небольшой высоты. Возьмите легкий предмет—и помеха тотчас обнаружится: бумажка, пушинка, снежинка (в тихую погоду) падают очень медленно. Опыт показывает, что если устранить сопротивление воздуха, то и пушинка будет падать с возрастающей скоростью и, что особенно любопытно, нисколько не отстанет от тяжелого камня. Этому трудно поверить, не видев опыта. А опыт состоит в том, что в длинной трубке, из которой удален воздух, дают одновременно падать пушинке и кусочку свинца (рис. 129): пушинка падает, ничуть не отставая. Некоторой заменой этого опыта может служить следую-

щий: возьмем два кружка одинаковой величины, один—тяжелый металлический, другой — бумажный. Держа первый плашмя (горизонтально), положим на него бумажный кружок и предоставим им падать. Воздух будет расталкиваться нижним кружком: сопротивление движению бумажного будет устранено, и мы увидим, что оба тела достигнут пола одновременно.


Рис. 129.

Итак, — скажете вы, — если бы устранить сопротивление воздуха, то и тяжелые, и легкие тела падали бы совершенно одинаково. Несомненно. И вот—соображение, которое позволяет несколько примириться с таким неожиданным выводом. Если бы мы уронили с одной и той же высоты 10 стограммовых латунных гирек, то все они достигли бы земли одновременно; соединим их мысленно в одну сплошную киллограммовую гирю и дадим ей упасть: почему бы ей падать скорее отдельных стограммовых гирь? Наша привычка думать, что тело падает тем скорее, чем оно тяжелее, происходит просто от того, что мы упускаем из виду сопротивление воздуха, замедляющее падение очень легких тел, а по отношению к тяжелым — ни разу не дали себе труда проверить себя опытом [1]).

Когда тяжелое тело падает с большой высоты, его движение может быть настолько задержано противодействием воздуха, что скорость его перестанет увеличиваться — не превзойдет известной границы. Простое вычисление, например, показывает, что если бы градина в отсутствии воздуха упала бы с высоты десятка километров, то в момент достижения земли она имела бы скорость револьверной пули. Сопротивление воздуха хорошо защищает нас от такой бомбардировки, ограничивая скорость градины, самое большее, 8 метрами в секунду. Легкие тела уже вскоре после начала падения достигают некоторой (небольшой) предельной скорости и продолжают падать

[1]) В нашем рассуждении мы взяли тела, состоящие из одного материала (латуни). Можно было бы все-таки спросить: не будет ли хотя какой-нибудь разницы в быстроте падения тел из столь различных материалов, как, например, пробка и золото. Несколько дальше мы увидим, что опыт и на такой вопрос решительно отвечает: нет, не будет.

приблизительно равномерно; так падают, например, снежинки в безветренную погоду.

114. Сделаем еще шаг дальше и посмотрим, насколько именно ускоряется движение падающих тел с течением времени. Для этого мы или должны представить себе тело падающим совершенно свободно — в «пустоте» — или взять тело настолько грузное, чтоб сопротивлением воздуха можно было бы пренебречь. Свободное падение происходит слишком быстро, и уследить за ним трудно. Воспользуемся тем, что шарик скатывается с наклонно поставленной доски — в сущности тоже падает — тем медленнее, чем доска отложе. Если притом на доске (бруске с жолобом) наметить равные деления и отсчитывать время по ударам маятника часов, то можно найти, какой путь шарик пройдет в первую, вторую и последующие секунды (рис. 130). Оказывается,

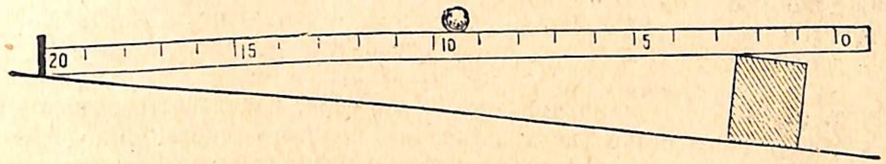


Рис. 130.

что пути, проходимые скатывающимся шариком в следующие одна за другой секунды, располагаются в замечательно правильный ряд, и что правильность сохраняется, если по произволу увеличивать наклон плоскости к горизонту — ставить ее все круче и круче: только пути, пробегаемые шариком в те же промежутки времени, увеличиваются. Не ясно ли, что и для случая отвесного падения — если бы доски совсем не было — мы нашли бы ту же правильность. Вот в чем она состоит: найдено, что

путь второй	секунды	втрое	больше,	чем	первой,
» третьей	»	в пять раз	»	»	»
» четвертой	»	в семь »	»	»	»

и т. д. Другими словами, если в течение первой секунды падающее тело проходит путь S сантиметров, то во вторую секунду оно пройдет $3S$, в третью — $5S$, в четвертую — $7S$ и т. д. Пути, проходимые падающим телом в течение последовательных секунд, располагаются как числа нечетного ряда: 1, 3, 5, 7, ... Далее опыты показали, что в первую секунду свободно падающее тело пробегает круглым счетом 5 метров. (Если, воспользовавшись внутренней домовой или приставленной к стенке лестницей, дадим камню упасть

с высоты 5 метров, то действительно найдем, что он достигнет пола в одну секунду.) Итак

путь 1-й секунды падения	$= 5 \times 1$	метров,
» 2-й » »	$= 5 \times 3$	»
» 3-й » »	$= 5 \times 5$	»
» 4-й » »	$= 5 \times 7$	»

и т. д. Более точно путь первой секунды для всякого свободно падающего тела выражается числом 4,9 метра.

Отсюда легко вывести еще и другую правильность. Какой путь проходит падающее тело не в последовательные секунды, а з а в с е в р е м я от начала падения.

В первую секунду оно проходит 5 метров.

В д в е секунды оно пройдет	$1 \times 5 + 3 \times 5 = 4 \times 5 = 2^2 \times 5$ м.
» т р и » » »	$4 \times 5 + 5 \times 5 = 9 \times 5 = 3^2 \times 5$ »
» ч е т ы р е » » »	$9 \times 5 + 16 \times 5 = 25 \times 5 = 5^2 \times 5$ »

и т. д. Произведение числа само на себя, как известно, называется второю степенью или квадратом этого числа. Следова-пути первой секунды, умноженному на квадрат числа секунд, протекших от начала движения. Если камень, которому вы дали упасть с высоты обрыва, падал 4 секунды, то высота обрыва $5 \times 4^2 = 80$ метров.

115. Камень, брошенный отвесно вверх, движется замедленно, т.-е. с убывающею быстротою, потому что из первоначальной скорости, с какою он был брошен, нечто непрерывно отнимается задерживающим действием силы тяжести. Действие силы тяжести при этом в той же самой мере замедляет движение брошенного камня, в какой ускоряет движение падающего. Поэтому камень движется вверх столько же времени, сколько ему нужно, чтобы упасть с высшей точки полета; падая обратно и достигнув места, с которого был брошен, он приобретает первоначально сообщенную ему скорость. Конечно, все это верно постольку, поскольку сопротивлением воздуха можно пренебречь. В отсутствии воздуха ружейная пуля, пущенная из отвесно направленного ружья, возвращалась бы на землю с тою же скоростью, с какою она вышла из дула. В действительности скорость ее значительно уменьшается вследствие сопротивления воздуха, но все же еще настолько велика, что может причинить большой вред.

116. Если тело брошено по горизонтальному направлению, то оно тоже падает, но вместе с тем продолжает двигаться по

и н е р ц и и горизонтально с тою скоростью, которая ему сообщена толчком. Приняв во внимание то и другое, нетрудно вычертить криволинейный путь, проходимый телом в действительности (рис. 131). В случае если тело брошено наклонно к горизонту, оно опишет в «пустоте» путь ACB (рис. 132) и несколько иной—в воздухе; на рисунке нижняя кривая изображает—грубо приблизительно—путь пушечного ядра в воздухе. Кривые, описываемые телами, брошенными (в отсутствии воздуха) горизонтально или наклонно к горизонту, называются «параболами». Сопротивление воздуха всегда более или менее изменяет вид кривой. Но при небольшой скорости это изменение ничтожно, и кривую можно наблюдать, например, на струе воды, бьющей из наклонно поставленной трубки фонтана.

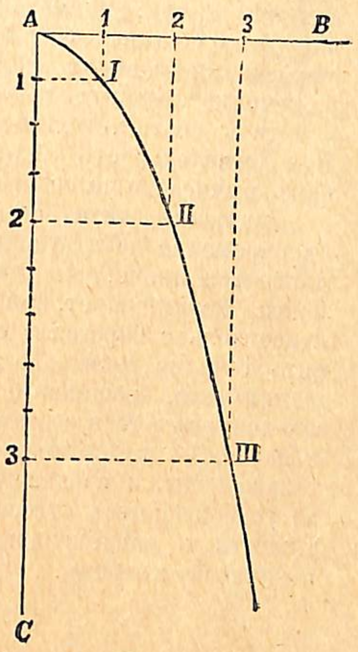


Рис. 131. Путь тела, брошенного горизонтально.

117. Как видим, способ нахождения кривой линии, по которой движется брошенное тело, основывается на допущении, что с и л а т я ж е с т и д е й с т в у е т н а д в и ж у щ е е с я т е л о т о ч н о т а к, к а к н а т е л о, н а х о д и в ш е е с я в п о к о е, т.-е. что тело в последовательные секунды приближается к земле настолько же в первом случае, как и во втором. Такое допущение оправдывается всеми выводимыми из него следствиями и тоже составляет—в более общей форме—одно из основных начал механики.

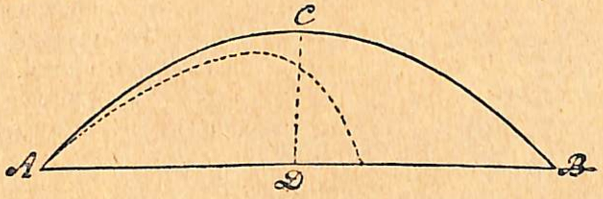


Рис. 132. Путь тела, брошенного наклонно к горизонту.

Наши обыденные представления о движениях очень часто находятся в противоречии с этим началом. Нам кажется, что на тело движущееся, особенно когда оно несется очень быстро, посторонние движущие причины как бы действуют слабее, чем на покоящееся. Разбежавшись, мы перескакиваем через широкую канаву; мы думаем, что, благодаря

«разбегу» или «размаху», сила тяжести временно как бы перестает уклонять наше тело вниз. Точно так же нам кажется, что сила тяжести не уклоняет пули, с большой скоростью выброшенной из ружья, от ее прямолинейного пути, если он короток, например составляет несколько десятков шагов. Но эти ошибочные заключения зависят лишь от малости промежутков времени, в течение которых мы наблюдаем движение, и от трудности заметить соответствующее им уклонение вниз, т.-е. падение. В действительности такое уклонение происходит всегда и может быть вычислено на основании точно известных законов движения.

Движение тела обыкновенно обусловливается несколькими одновременно действующими причинами, которые заставляют его двигаться иначе, чем при действии каждой причины в отдельности. Всякий знает, например, что гребная лодка иначе движется относительно берегов в стоячей воде, чем тогда, когда ее «относит» течение реки. То же и в разобранном выше примере движения тела, брошенного горизонтально. В таких случаях говорят, что движение тела составляется или слагается из других: в первом — из движения, которое сообщает лодке гребец относительно воды, и из движения лодки вместе с водою; во втором — из ускоряющегося отвесного падения тела вследствие действия тяжести и равномерного движения по горизонтальному направлению по инерции.

IV. О качаниях маятника и о том, как измеряют время.

118. Что такое секунда времени, с которой мы здесь часто имели дело? Это—некоторый строго определенный промежуток времени; но в повседневной жизни он оценивается очень произвольно: его чуть не отождествляют с «мгновением». Правильной оценке учит нас маятник, качания которого, как сейчас увидим, поддерживаются действием тяжести. Представим себе круговой жолоб (на рис. 133 круговая дуга *ABC*), на который положен тяжелый шарик. Если отведем его в сторону от низшей точки дуги *(B)* и отпустим, то тяжесть заставит его падать. Шарик будет катиться вниз как бы по ряду наклонных плоско-

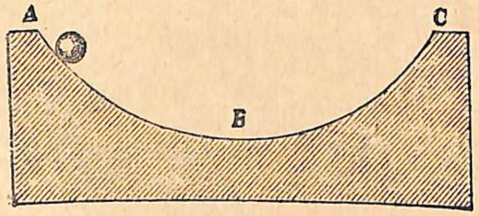


Рис. 133.

стей, наклон которых к горизонту все уменьшается. Вследствие приобретенной скорости — по инерции — он перейдет за точку *B* и поднимется на некоторую высоту по другую ее сторону; затем он пойдет обратно, и т. д. Движение шарика будет колебательное; оно состоит из ряда последовательных падений и поднятий тела. Вследствие сопротивлений, встречаемых шариком на пути (главным образом, конечно, трения), он скоро остановится.

Подобное же колебательное движение можно наблюдать гораздо дольше, если подвесить тяжелый шарик на нитке и, выведя нить из отвесного направления, отпустить. Он будет качаться (колебаться) из стороны в сторону, пока сопротивление воздуха и другие менее заметные помехи наконец не заставят его успокоиться. В этом случае прибор называется маятником. Вес нити сравнительно с подвеском предполагается ничтожно малым: можно считать, что нить служит только для удержания подвеска на дуге *BAC* (рис. 134). Каждое качание, как и в предшествовавшем примере, состоит из падения и поднятия подвешенного тела. Время, в течение которого подвесок проходит всю дугу от одного крайнего положения до другого, называется продолжительностью или временем одного качания. Расстояние от точки привеса *(O)* до центра шарика в нашем простом случае мы назовем длиною маятника. (Для точных наблюдений употребляются маятники гораздо более сложного устройства.)

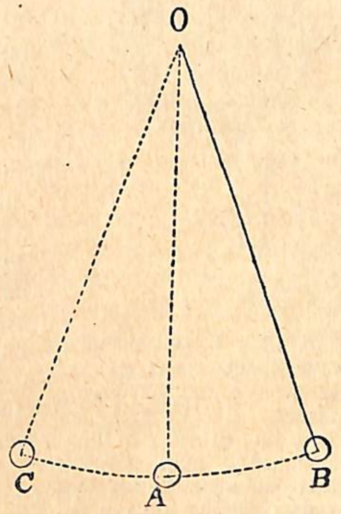


Рис. 134.

119. Этот нехитрый прибор научает нас многому. Подсчитывая число качаний маятника в течение достаточно большого промежутка времени, можно притти к следующим выводам:

1) Продолжительность колебания (т.-е. время каждого отдельного качания) маятника данной длины почти не зависит от величины его размаха, т.-е. от дуги, проходимой подвеском, и чем меньше размах, тем ничтожнее разница в продолжительности последовательных колебаний.

2) Продолжительность колебания — при одной и той же длине маятника — не зависит от материала, из которого сделан маятник (в нашем случае — его подвесок) [1].

3) Продолжительность колебания изменяется с длиною маятника: маятник более длинный сделает в данное время меньше качаний, чем более короткий. В этом обстоятельстве убедиться проще всего, и оно, конечно, известно каждому.

Рассмотрим некоторые замечательные следствия, к которым приводят указанные особенности качания маятника.

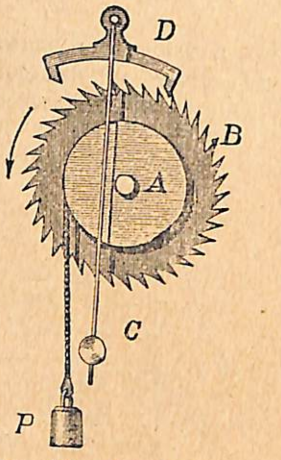


Рис. 135. Спускающаяся гиря вращает вал и скрепленное с ним зубчатое колесо. На вторую ось насажен маятник и скрепленный с ними крючок. Колебания маятника поддерживаются толчками, получаемыми крючком со стороны зубчатого колеса.

Время колебания маятника зависит от его длины. Можно изготовить такой маятник, который совершал бы условленное число качаний в течение наших суток. Маятник, который сделал бы в сутки ровно 86400 качаний (86400 = 24 . 60 . 60), дает нам «секунды» времени и называется секундным. Секунда есть именно время одного качания маятника, совершающего в течение наших суток 86400 колебаний. Если наш упрощенный маятник (рис. 134) сделает в минуту 60 качаний, то длина его (считаемая, как сказано выше, от точки привеса до центра шарика) окажется равною немногим меньше 1 метра.

Так с помощью маятника достигается подразделение суток на меньшие единицы времени: время делят и отсчитывают подобно длине, весу и пр. Маятник является точным измерителем времени.

Для удобного отсчитывания времени маятник соединяют с часовым механизмом (рис. 135). Гиря или пружина приводит в движение ряд зубчатых колес. Последнее колесо этого ряда (то, которое вращается всего скорее) поддерживает толчками своих зубцов качания маятника, а эти качания

[1]) Наблюдения этого рода требуют не мало внимания; точное же опытное доказательство второго положения сопряжено с разными трудностями, так как необходимо сделать сопротивление при колебаниях как можно меньше и уравнять его в разных случаях. Понятно, что в воздухе два одинаковых маятника с подвесками, например, из железа и пробки стали бы качаться далеко не одинаковым образом.

делают ход часов в общем равномерным. Стрелки часов в сущности указывают нам, сколько качаний сделал в протекшее время секундный маятник: минуты и часы — только удобный счет числа секунд. Укорачивая маятник часов, мы ускорим их ход, потому что колебания маятника сделаются чаще, а удлиняя его — замедлим ход. Так можно управлять ходом часов с большою точностью. Для этой цели «чечевица» (подвесок) маятника стенных часов делается подвижной, так что может быть приподнята или опущена, по мере надобности.

Часы с точным ходом сделались возможными только со времени применения к ним маятника. Раньше довольствовались «солнечными часами» и другими приспособлениями, гораздо менее точными и удобными, чем современные часы [1]).

120. Второе следствие стоит отметить попутно. Продолжительность качания маятника не зависит от материала подвеска. Вот новое — и притом очень точное — доказательство того, что все тела, независимо от их размеров и материала, падают одинаково скоро.

В самом деле, положим например, что некоторое тело M падало бы немного скорее другого, N. Так как колебания маятника состоят из ряда последовательных падений и поднятий подвеска, то маятник (при одинаковой длине) пробегал бы дугу BC (рис. 134) с подвеском M немного быстрее, нежели с подвеском N, и продолжительность каждого качания была бы в первом случае несколько меньше. Но продолжительность качания маятников можно сравнить с чрезвычайною точностью, сосчитав число качаний в течение большого промежутка времени. Изготовляют маятники, делающие в «безвоздушном» пространстве десятки тысяч качаний до полной остановки. Понятно, что малейшая разница в продолжительности качаний, при столь большом числе их, была бы замечена. И вот самые тщательные опыты не обнаружили никакой разницы в числе качаний маятника в данный промежуток времени, хотя бы материал подвеска был очень различен. Прямые наблюдения над

[1]) Надо заметить, что продолжительность наших *гражданских суток* (так называемых суток среднего солнечного времени) не вполне одинакова с временем, в течение которого земля обращается вокруг своей оси, а приблизительно на 4 минуты больше последнего; 365 гражданских суток почти равны 366 раз взятому времени обращения земли. В течение времени одного обращения земли «секундный» маятник сделал бы 86164 качания (это число меньше 86400 приблизительно на столько, сколько секунд в 4 минутах). «Полсекундный» маятник был бы не вдвое, как сперва можно было бы подумать, а вчетверо короче секундного: длина его была бы немного меньше 25 *см.*

падением могли еще оставить нерешенным вопрос, действительно ли между быстротою падения тел столь различной плотности, как, например, пробка или платина, нет никакой разницы; но изучение качаний маятника не оставляет в этом ни малейшего сомнения.

V. Относительное движение одного тела по поверхности другого движущегося.

121. Положим, что мы находимся внутри судна, уносимого спокойным течением реки прямолинейно и равномерно. Наблюдая за различнейшими движениями в судне, мы увидим, что все они происходят точно так, как если бы судно оставалось в покое. Наша ходьба, движение падающих и брошенных предметов, течение пролитой воды, полет мухи, распространение табачного дыма в воздухе и пр. — все эти перемещения относительно частей судна ни малейшим образом не нарушаются его движением. Следовательно, если бы мы судили только по движению предметов внутри судна относительно его самого, то мы не имели бы никакой возможности решить, движется судно или нет. Почти те же условия мы встречаем и в каюте парохода, идущего прямолинейно и равномерно; но здесь обыкновенно легкие толчки, обусловленные движением машины, несколько нарушают прямолинейность и равномерность движения разных частей парохода, и некоторые движения относительно каюты в подробностях будут изменены. Еще в большей мере это относится до движений в вагоне железнодорожного поезда. Быстрые и значительные изменения направления и скорости (как, например, при судовой качке, крутом повороте или внезапном торможении вагона) тотчас сказываются сильным изменением положения предметов относительно частей каюты или вагона.

Дело в том, что все предметы, находящиеся на судне, движутся вместе с ним и по инерции сохраняют направление и скорость своего движения, когда временно отделяются от частей судна. Брошенный вертикально вверх мяч будет двигаться вдоль спокойно висящего отвеса и упадет обратно в то самое место, откуда был брошен. Это и не может быть иначе, потому что брошенный мяч продолжает двигаться по горизонтальному направлению с тою же точно скоростью, как и разные точки отвеса, — как все связанные с судном предметы. Если бы мы не захотели оставаться внутри судна, а подбросили бы легкий мяч «вертикально» на палубе, то очень возможно, что результат был бы иной. Но почему? Только потому, что окружающий воздух не принимает участия в движении

судна и изменяет движение подброшенного легкого мяча — например, уменьшая его скорость при полном затишьи воздуха относительно суши (мы сказали бы, что мяч «относится» назад противным ветром, который тогда ощущается на судне). Но, конечно, от этого не изменилось бы заметным образом движение камня. В сходных условиях находится и предмет, подброшенный ездоком «вертикально вверх» на равномерно бегущей лошади: брошенный предмет по инерции следует за ездоком, и последний подхватывает его почти точно так, как мы, стоя на земле, ловим брошенный прямо вверх мяч.

Обобщив это, можно сказать, что движение тела относительно некоторой системы тел, к которой оно принадлежит (судно и пр.), не зависит от того, находится ли эта система в покое или имеет общее прямолинейное и равномерное движение. Но всякое изменение движения системы — по направлению скорости или по тому и другому вместе — скажется изменением движения тела относительно системы. Кому не известно, что при быстром торможении поезда или при крутом повороте вагона пассажиры испытывают «толчки» и даже могут быть сброшены с мест; при легком же нарушении прямолинейности и равномерности движения на ходу поезда почти непрерывное покачивание сидящих именно напоминает нам, что поезд «в ходу», говоря правильнее — что движение его не строго прямолинейное и равномерное [1]).

122. Посмотрим теперь, как сказанное выше применяется к движениям на поверхности, если принять во внимание, что сама земля движется вокруг оси и солнца. Обыкновенно мы не замечаем движения земли, потому именно, что вращение ее равномерно, и что все земные предметы, вследствие значительных размеров земного шара, движутся — в течение короткого времени наших наблюдений — почти прямолинейно. Временно отделившиеся от земной поверхности предметы по инерции сохраняют свою скорость — вместе с воздухом, окружающим землю. Поэтому, например, поднявшийся аэростат и парящая в воздухе птица не отстают от земной поверхности. При длительных полетах шара

[1]) Любопытно здесь еще раз отметить, как относительны и сбивчивы суждения о движении и покое. Когда экипаж с находящимся на нем седоком вдруг двинется вперед, туловище седока «отбрасывается» назад; при крутом и быстром повороте экипажа оно «отбрасывается» в сторону (наружную по отношению к закривлению пути). Нам кажется, что движется именно туловище седока, тогда как на самом деле экипаж, изменив свое движение, уходит из под туловища, и в первом случае в момент толчка туловище по инерции остается даже в покое относительно земли.

или птицы ничтожное закривление пути, обусловленное шарообразностью земли, конечно остается совершенно незаметным.

Однако, так как при суточном обращении земли точки земной поверхности движутся криволинейно и не везде с одинаковою скоростью, то, строго говоря, движения на земле происходят не совершенно так, как если бы она была в покое. Представим себе, например, высокую башню, с вершины которой (A) падает камень (рис. 136). Вершина башни в течение суток описывает немного больший путь, чем ее основание (B), потому что радиус AC больше BC; потому скорость движения вершины немного больше, чем основания, и падающий камень, сохраняя по инерции скорость точки A, из которой он опущен, должен несколько опередить основание B, именно—упасть от него немного в сторону вращения земли, к востоку. Такое уклонение падающих тел к востоку — конечно ничтожное — действительно обнаружено и приблизительно измерено наблюдениями. Далее. Точки различных параллелей на земной поверхности описывают в течение суток тем меньшие круги, чем они дальше от экватора, следовательно скорость их тем меньше скорости на экваторе (где она наибольшая), чем больше географическая широта места. Положим, что какое-нибудь тело, не связанное неразрывно с землею, движется от экватора к полюсам; так как оно будет переходить в места, где скорость точек земной поверхности становится все меньше и меньше, то оно должно опережать их. Напротив, если бы тело двигалось от полюсов к экватору, то оно стало бы отставать от точек земной поверхности. И в самом деле нечто подобное происходит, например, при перемещении воздушных масс (ветер), направляющихся из экваториальных местностей к полярным и обратно. Опережение и отставание воздушных частиц приводит именно к тому, что направление этих воздушных течений относительно земной поверхности (например по отношению к меридианам) заметным образом изменяется сравнительно с тем, какое оно было бы при условии неподвижности земли. Вращение земли сказывается на направлении ветров еще иными более сложными последствиями.

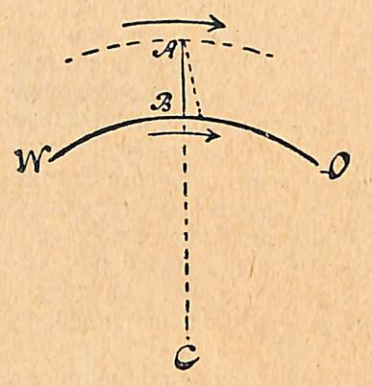


Рис. 136.

Названные здесь и родственные им явления служат именно **физическими доказательствами вращения земли вокруг оси.** Если бы мы даже не имели доказательств вращения в целом ряде явлений астрономических, наблюдающихся вне земли, то при знании общих законов движения мы нашли бы достаточные доказательства путем внимательного изучения некоторых движений на самой земной поверхности.

VI. О механическом взаимодействии и о «силах».

123. Выше мы не раз встречались со словом «сила»; в особенности часто упоминалась сила тяжести. Стоит познакомиться ближе с тем, какой смысл придается этому слову в механике, или учении о движении тел [1]).

«Силою» в механическом смысле называется всякая причина, которая или приводит покоившееся тело в движение, или изменяет движение, уже существующее. В пояснение первого достаточно того немногого, что было сказано в § 6. Но что значит: «изменять движение»? По закону инерции (§ 112), тело, раз приведенное в движение и предоставленное самому себе, продолжает двигаться **по прямой линии с постоянною скоростью.** Вот мы и скажем, что движение тела «изменяется», если почему-либо изменяется направление или скорость его движения или же то и другое вместе. Но это, конечно, не может произойти «само собою»—так сказать—по прихоти самого тела; должна быть внешняя причина, которая изменила бы его движение; всякую такую причину и называют силою.

В § 6 было уже обращено внимание на то, что наше понятие о силе—нечто условное, вспомогательное, что тело собственно приводится в движение действием другого тела. То же надо сказать и о всяком изменении уже существующего движения. Этого рода действия тел мы и называем «механическими».

124. Самое слово «действие» тоже заслуживает большего внимания, нежели ему обыкновенно отводится. Когда мы заме-

[1]) Слову «сила» слишком привыкли придавать множество совсем различных значений. Когда говорят: мышечная сила, сила тяжести и т. п., слово «сила» понимается в смысле движущей причины; но в выражениях: сила света, сила звука и пр. это слово имеет уже совсем иной смысл. А говоря: сила памяти, сила закона, общественная сила, душевная сила и т. п., переносят то же слово в область, имеющую очень мало общего с предыдущими. Наконец, не редкость, что это слово употребляется совсем некстати, неверно, напр.: сила движения (вместо скорость движения), сила теплоты. Взятое наукою из нашего житейского обихода, слово «сила» не раз приводило к крупным недоразумениям. В особенности не посчастливилось ему на почве философских рассуждений прежнего времени, где оно бывало предметом совершенно бесплодных препирательств.

чаем, что на тело *A* действует другое *B*, то часто совсем упускаем из виду, что и последнее неизбежно действует на первое. Надавим пальцем на доску стола. Палец будет испытывать встречное давление со стороны доски; только благодаря последнему мы и получаем ощущение давления: мы не могли бы заметить самого прикосновения к столу, если бы не было никакого

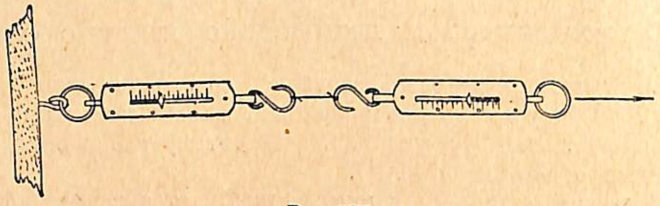


Рис 137.

противодействия. Почувствуете ли вы прикосновение (в смысле давления) к туману, к струе дыма? В случае установившегося равновесия совершенно ясно, что давление пальца на доску р а в н о о б р а т н о м у (встречному) д а в л е н и ю доски на палец.

Если крюк пружинных весов прикрепить к стене и тянуть, то указатель весов передвинется — потому, конечно, что рука наша «тянет» за другой конец весов. Но как мы могли бы «тянуть», если бы не противодействовала стена, если бы она не «тянула» обратно? И стена тянет в той же самой мере, как наша рука. Если мы, например, сцепим крюками двое (сверенных) пружинных весов и, прикрепив кольцо одних к стене, станем тянуть за кольцо других (рис. 137), то указатель весов, конечно, передвинется в тех и других на одно и то же число делений. Дело происходит совершенно так, как если бы кто-нибудь удерживал рукою кольцо первых весов, значит тянул бы за него постольку, поскольку мы тянем в свою сторону.

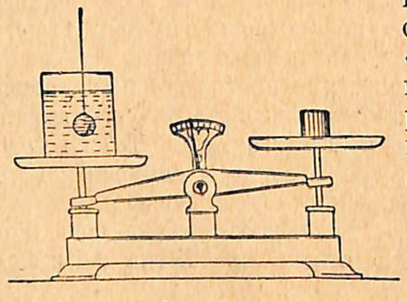


Рис. 138.

Тело, погруженное в жидкость, испытывает с ее стороны п о д д е р ж и в а щ е е или в ы т а л к и в а ю щ е е д а в л е н и е, равное весу вытесненной телом жидкости (закон Архимеда). Но что и тело обратно давит на жидкость—в этом очень просто убедиться. Поставим на чашку весов (рис. 138) стакан с водою

и уравновесим его, например, дробью. Если затем опустим в воду привязанный на нитке камень, то стакан с водою перетянет. Легко сообразить, как именно велико давление камня на воду, от которого, повидимому, увеличивается вес жидкости. Вследствие погружения камня вода в стакане поднимается—как будто в стакан было прилито столько воды, сколько вытеснено камнем; самый же камень не давит на чашку весов, потому что висит на нитке. Следовательно, кажущееся увеличение веса жидкости должно равняться весу воды, замещенной камнем,—а это и есть величина поддерживающего давления. Итак, давление жидкости на камень равняется встречному его давлению на жидкость.

Обратим особое внимание на те действия тел друг на друга, при которых возникает или изменяется их д в и ж е н и е. Соединив спиральной пружиной или резинкой две гири, растянем упругую связь и предоставим гири самим себе. Обе они придвинутся друг к другу. Если бы пружина была скручена и потом отпущена, то обе гири стали бы поворачиваться в противоположные стороны. Когда два наскочивших биллиардных шара ударяются друг о друга, оба сжимаются, и оба изменяют свое движение. Когда артиллерийский снаряд или пуля выбрасывается давлением пороховых газов, орудие или ружье также испытывают толчок—в противоположную сторону (так называемая «отдача» при выстреле).

Двигая какой-нибудь предмет, мы сами неизбежно подвергаемся обратному его действию. Если мы быстро откинем в сторону руку, держа на ней массивную гирю, то наше туловище откинется в противоположную; напротив, быстрое придвигание гири повлечет за собою и придвигание к ней туловища. Каждый раз, когда при ходьбе наше туловище поддается вперед, ноги наши получают толчок назад, но встречают противодействие почвы («опираются» о нее); все значение этого противодействия станет очевидным, если вспомнить, как трудно ходить по скользкому льду. При быстром повороте верхней части тела в одну сторону мы делаем ногами усилие, мешающее им повернуться в противоположную; на льду, когда именно ноги не встречают достаточной опоры, движение их прямо становится заметным.

Струя воды, вытекающая под некоторым давлением из отверстия в стенке сосуда, как бы выталкивается из сосуда; вместе с тем с о с у д о т т а л к и в а е т с я о т в ы б р а с ы в а е м о й ж и д к о с т и, потому что последняя давит на стенку, противоположную отверстию. Это тотчас видно, если сосуд достаточно подвижен. Присоединим к воронке резиновую трубку с запаянным стеклянным наконечником, имеющим сбоку отверстие (рис. 139). Если в воронку нальем воды, то она будет выбрасываться из отверстия струею

*



Рис. 139.

и резиновая трубка тотчас отклонится в противоположную сторону (как показано на рисунке пунктиром). Отсюда понятно устройство механизмов, приходящих во вращательное движение при вытекании воды. На рис. 140 изображена простая модель одного из них, легко изготовляемая из лампового стекла («Сегнерово колесо»). Некоторые из мощных двигателей, называемых в технике *турбинами*, основаны на этом начале: они приводятся во вращение выбрасыванием воды или водяного пара под значительным давлением (водяные и паровые турбины). Рис. 141 показывает устройство простой паровой вертушки, приводимой в движение парами кипящей воды. На рис. 142 и 143 изображены схемы *водяной* и *паровой турбин*.

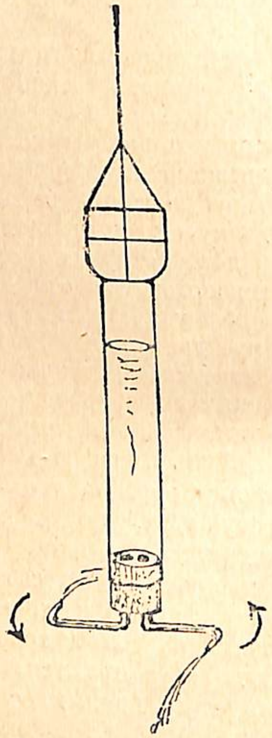


Рис. 140. «Сегнерово колесо».



Рис. 141. Паровая вертушка.

Действуя гребными веслами, мы, очевидно, пользуемся противодействием воды. На том же основано действие пароходного колеса с лопатками и *пароходного винта* (рис. 144), а на противодействии воздуха — *пропеллера* («толкателя») аэропланов (рис. 145). Рис. 146 изображает всем известную вертушку, крылья которой имеют форму лопастей пароходного винта (сходных, пожалуй, и с крыльями ветряной мельницы); если сообщить ей быстрое вращение (помощью особого станочка), то она высоко взлетает вследствие противодействия воздуха (стрелками показано направление вращения). Напротив, если бы та же вертушка была бы укреплена на неподвижно установленной оси, то при вращении она стала бы прогонять струю воздуха вдоль оси: мы имели бы *вентилятор*. Противодействием воздуха пользуется летящая птица. Им же

объясняется полет ракеты, выбрасывающей при горении сильную струю газов вниз; по той же самой причине взвивается в воздух легкий резиновый пузырь, если надуть его и разжать отверстие, держа его книзу (рис. 147). Резиновая трубочка изображенного на рис. 139 прибора отбрасывается в сторону, если вдувать в нее воздух.

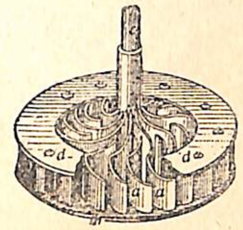


Рис. 142. Схема водяной турбины.

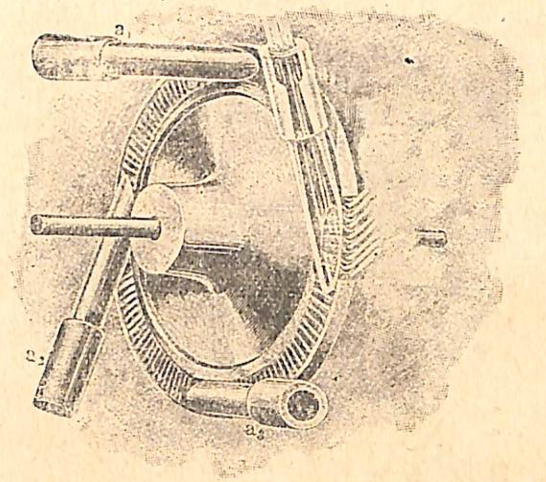


Рис. 143. Схема паровой турбины.

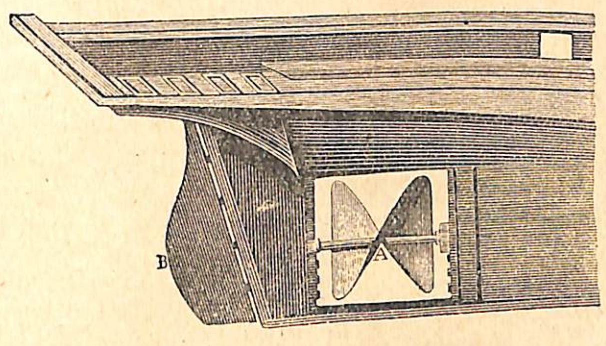


Рис. 144. Пароходный винт.



Рис. 145. Пропеллер.

Здесь кстати сказать о летательных машинах, или *аэропланах*, и подчеркнуть их коренное отличие от *аэростатов* (§ 103). Сделайте из четвертушки бумаги стрелку (рис. 148) и бросьте ее в воздух почти горизонтально чуть-чуть вверх: она пролетит довольно далеко. Стрелка опирается на воздух, как парящая птица крыльями; она может оставаться в воздухе только пока движется: иначе она падает (аэроплан). Представьте теперь себе, что на стрелке укреплена заводная машинка, движущая вертушку вроде пароходного винта (пропеллер), который постоянно толкает стрелку

вперед: вот вам и аэроплан (рис. 149 и 150). Аэроплан снабжается еще рулями (подвижными плоскостями), дающими возможность изменять направление его

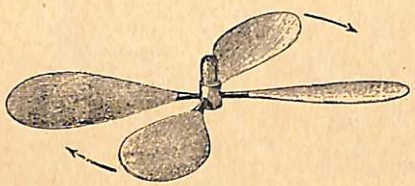


Рис. 146-а.



Рис. 146-б.

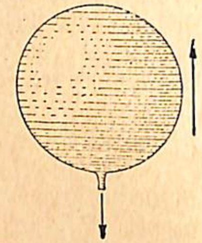


Рис. 147. Надутый резиновый пузырь взлетает вверх, если разжать отверстие.

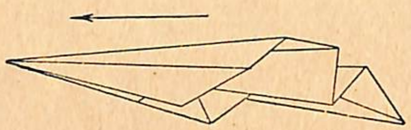


Рис. 148.

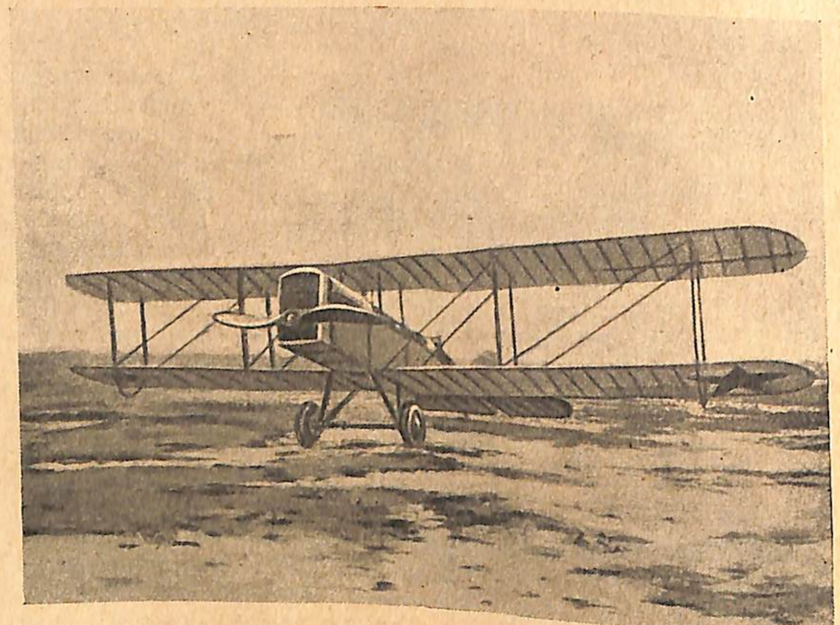


Рис. 149. Аэроплан.

движения. Таким образом, если про аэростат можно в точном смысле сказать, что он в воздухе «плавает», то про аэро-

план надо будет сказать, что он «летает», как летает птица; птица, как аэроплан, тяжелее воздуха в равном объеме, тогда как аэростат — легче. Аэропланный пропеллер приводится в движение мощными двигателями (применяемыми также в автомобилях), о которых будет сказано впоследствии (§ 204). Быстрота полета аэропланов доводится до 350 километров в час, что значительно превышает скорость курьерских поездов.

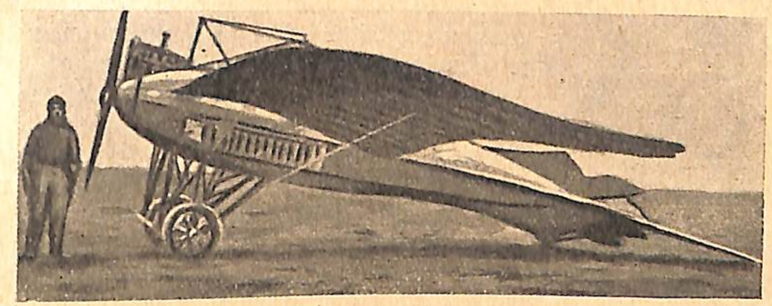


Рис. 150. Аэроплан.

125. Когда железо находится вблизи магнита, оба тела движутся, если только им предоставлена к тому возможность, — например, если они положены на два опущенные в воду поплавка. Железо приближается к магниту, и, наоборот, магнит — к железу. Если бы по внешнему виду вы не знали, которое из обоих тел — магнит, то и не узнали бы этого по одному лишь притяжению.

Очень часто нам, однако, кажется, что действие направлено предпочтительно в одну сторону и даже только в одну сторону. Представим себе, например, что два тела очень различной твердости ударятся друг о друга: тогда действие удара может сказаться значительным изменением формы одного и ничтожным или совсем незаметным изменением другого. При взаимном ударе двух тел обыкновенно разбивается менее крепкое из них.

Возьмите в руки две одинаковых картонных полоски и нажмите их концами одна о другую, — конечно — погнутся обе. Но если одна полоска будет гораздо толще или короче другой, то ее гнутие может остаться и вовсе незамеченным. Прижимая друг к другу два картонных или металлических кольца (рис. 151), одинаковой и различной податливости (гибкости),

хорошо можно видеть на них различное действие взаимного нажатия: если одно из колец гораздо менее податливо, то она как будто и вовсе не сожмется. Вот еще очень наглядный опыт. Стянем и свяжем ниткой концы кухонных щипцов, приложим к ним две коробки со спичками (рис. 152) и, удерживая щипцы за верх, осторожно перережем нитку ножницами: обе коробки будут отброшены на одинаковое расстояние. Но наполним одну из них вместо спичек дробью или мелкими гвоздями, и повторим то же самое: теперь будет далеко отброшена коробка со спичками, а коробка с дробью едва сдвинется. А если вместо последней возьмем книгу с положенным на нее достаточным грузом, то она, пожалуй, и вовсе не сдвинется. *Неподвижно* укрепленный предмет остался бы на месте, и мы склонны были бы заключить, что действие было направлено *только* в сторону подвижного. Так всякая достаточно подвижная вещь в комнате «притягивается» к стене, если будет связана со стенкою, например, посредством растянутой пружины.

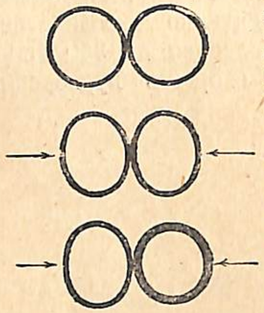


Рис. 151.

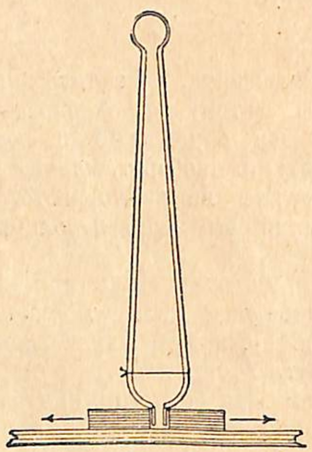


Рис. 152.

Когда мы сдвигаем грузный предмет, мы стараемся хорошенько упереться ногами, т.-е. уменьшить подвижность нашего тела, и нам тогда кажется, что действие направлено только от нас на предмет. Но положим, что последний лежит на земле, а мы стоим на скользком льду или находимся в лодке. Тогда при прежнем усилии наших мышц произошло бы как раз обратное: наше тело отодвинулось бы от предмета. Взгляните еще на движение двух лодок, притягиваемых одна к другой посредством веревки. Две одинаковых и одинаково нагруженных лодки будут сближаться с одинаковыми скоростями; чем более различны нагрузки, тем различнее будут скорости лодок; если, наконец, вместо одной из лодок представим себе грузную барку, то последняя окажется по отношению к первой почти что в роли неподвижного

предмета. Когда человек, тянущий за веревку, стоит на барке, дело представляется ему так, как будто он тянет только лодку; когда же он находится на лодке, он как бы притягивается к барке. Движение барки в обоих случаях совершенно упускается из виду. Неподвижно закрепленный магнит притягивает к себе железо; наоборот, если последний неподвижен, то он с *точно такой же силой* тянет к себе магнит.

126. Из предыдущих примеров (легко можно было бы подобрать еще и множество других) мы можем сделать следующий весьма важный вывод. *Всякое механическое действие есть взаимодействие, и действие тела A на другое B всегда равно противоположному (встречному) действию B на A.*

Теперь положим, что мы имеем два механически действующих тела A и B, и что наше внимание останавливается сперва только на одном из них, например на A: тогда мы скажем, что на него действует сила со стороны другого, B; тело B будет «действующим», а тело A — «подверженным» его действию. Если же нас интересует то, что происходит с телом B, — мы скажем наоборот, что на B действует точно такая же сила со стороны A, и тогда тело A будет действующим, а B — подверженным его действию [1]).

Те движения, которые мы сами производим в других предметах, сопровождаются столь привычным для нас ощущением усилия или силы, что мы сроднились с понятием о силе и склонны переносить его и на явления неживой природы. Хотя этим, конечно, нисколько не «уясняется» действие одного тела на другое, тем не менее для исследования взаимной зависимости явлений механическое понятие о силе оказывается во множестве случаев очень полезным.

VII. Обзор.

127. С движением мы встречаемся повсюду. *В природе все движется*, и о покое можно говорить лишь условно.

Наука о движении и его причинах называется *механикой*.

[1]) Быть может, полезно заметить, что действие тела A на B так же неотделимо от действия B на A, как, например, при покупке чего-нибудь расход, с одной стороны, неотделим от прихода — и притом равного — с другой: один и тот же процесс есть обмен денег на вещь и вещи на деньги, смотря по тому, с какой стороны на него взглянуть. Говорят «палка о двух концах»: но действие и противодействие (встречное действие) точно так же неотделимы друг от друга, как в нашем представлении оба конца палки.

Если тело в равные — произвольно выбранные — промежутки времени проходит пути одинаковой длины, движение называется равномерным. Тело движется в этом случае с постоянною скоростью.

Все наблюдаемые нами движения — неравномерные.

По виду пути, проходимого телом, различают движения прямолинейные и криволинейные.

На земной поверхности все движения осложняются препятствиями, которые тело неизбежно встречает на своем пути. К таким препятствиям относится трение о поверхность, по которой тело движется, и сопротивление среды (воды, воздуха и т. п.).

Изучение происходящих вокруг нас движений осложняется также постоянным действием силы тяжести, влекущей тела к земле.

Силой называем всякую причину, которая приводит покоившееся тело в движение или изменяет движение (его направление, или скорость, или то и другое вместе).

Первое основное начало механики составляет закон инерции: тело само по себе не стремится ни к покою, ни к движению—ему лишь свойственно сохранять то состояние (покоя или равномерного прямолинейного движения), в котором оно находится.

Второе основное положение заключается в следующем: сила действует на движущееся тело точно так, как на тело, находящееся в покое. Отсюда следствие: движение тела относительно некоторой системы тел, к которой оно принадлежит, не зависит от того, находится ли эта система в покое, или имеет общее прямолинейное и равномерное движение.

Наконец, третье основное положение механики говорит, что всякое механическое действие есть взаимодействие: действие одного тела *A* на другое *B* всегда вызывает противоположное и равное действие *B* на *A*.

Движение, наиболее нам знакомое, — падение тел под действием силы тяжести. В воздухе различные тела падают с неодинаковою скоростью, в безвоздушном пространстве — с одной и той же. Движение падающего тела — ускоренное, при чем в первую секунду тело пробегает круглым счетом 5 метров, а пути, проходимые им в течение последовательных секунд, располагаются как числа нечетного ряда: 1, 3, 5, 7..... Длина пути, пройденного падающим телом за какое-либо время, равняется пути первой секунды (5 *м*), умноженному на квадрат числа секунд, протекших от начала движения.

Движение тела, брошенного вверх по отвесному направлению, будет замедленное, т.-е. с убывающей скоростью: тело при этом движется вверх столько же времени, сколько ему нужно, чтобы упасть с высшей точки полета, и, достигнув при обратном падении земли, приобретает первоначальную скорость. Все это, конечно, верно постольку, поскольку можно пренебречь сопротивлением воздуха.

Движение тела, брошенного по горизонтальному направлению или под углом к горизонту, совершается по кривой—параболе. Здесь движение тела слагается из двух: равномерного по инерции и ускоряющегося вследствие действия силы тяжести.

Под влиянием силы тяжести происходит и колебание маятника. Продолжительность колебаний простого маятника (нить с грузом) почти не зависит от величины его размахов, не зависит от материала, из которого приготовлен маятник, но изменяется с длиною маятника. Секундный маятник, делающий в сутки 86400 качаний, имеет длину около 1 метра, полусекундный — немного меньше 25 сантиметров. Роль маятника при часовом механизме—сделать ход часов в общем равномерным.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ.

Работа и энергия.

I. Что называют в физике работой и энергией.

128. Чем движущееся тело отличается от того же тела, находящегося в покое? Тем, что оно способно преодолевать различные противодействия, сопротивления, или, как ныне говорят в физике, совершать работу. Под словом «работа» разумеют именно преодоление сопротивлений. Брошенный в оконное стекло камень разбивает его, т.-е. преодолевает сцепление частиц стекла. Ружейная пуля, пушечное ядро, несущееся с большой скоростью, способны преодолевать еще гораздо большие сопротивления, что каждому известно по производимым ими действиям. Работу способна совершать движущаяся (текущая, падающая) вода, движущийся воздух, т.-е. ветер: достаточно припомнить работу водяной или ветряной мельницы.

«Способность совершать работу» или «способность к работе» называют энергией. Брошенный камень, ружейная пуля, пушечное ядро, выброшенные из дула, текущая вода, ветер — обладают

энергией. Самое слово «энергия» нам хорошо знакомо из житейской практики. «Человеком большой энергии» мы называем того, кто способен преодолевать большие трудности, большие противодействия, другими словами — совершать много работы. В переносном смысле здесь подразумевается и духовная работа, например умственная. Но физике приходится иметь дело только с «механической» работой, — работой передвижения тел против различных сопротивлений. Обычные примеры работы — преодоление силы тяжести при поднятии грузов, преодоление трения, сопротивления воздуха; последнего, как и трения, никогда нельзя вполне устранить. Не будем упускать из виду, что «работать» непременно значит перемещать, двигать что-либо против сопротивлений; если нет движения,—нет и работы. Ведь и в практике о том, что совершена работа, судят по перемещению. Если вы толкаете или тянете груз, и вам не удается сдвинуть его с места, то никто не назовет ваших стараний работой (разве только в насмешку); скажут: напрасно возитесь. Груз, положенный на доску, сперва (хотя бы и очень мало) прогибает или вдавливает ее, т.-е. производит работу против упругости материала; но спокойно лежащий груз, хотя бы он и сильно давил на доску, не совершает никакой работы. С другой же стороны, перемещение, при котором не преодолевалось бы никакого сопротивления, не сопровождается работой. Таково, например, было бы движение тела по инерции в отсутствии трения и сопротивления воздуха.

Работа может быть еще гораздо разнообразнее, чем в приведенных примерах. Преодоление упругости пружины при ее сжатии или растяжении, преодоление связи частиц дерева или металла при его обработке и т. п. — все это примеры работы. При всяком нашем движении мы преодолеваем какое-нибудь сопротивление, хотя бы и незаметное по малости (как, например, при моргании) или по привычке (обычные движения рук, ног), — совершаем работу. Работа совершается нами и тогда, когда мы дышим и говорим, потому что мы не без некоторого усилия выталкиваем при этом воздух из легких. Мы видим, что работа совершается всегда и всюду: нет такого перемещения вокруг нас, при котором не совершалось бы какой-нибудь работы.

Энергия движущегося тела тем больше, чем больше его масса и чем быстрее оно движется. Как велика может быть энергия тел большой массы или движущихся с большою скоростью, наглядно доказывается страшными несчастиями при внезапной остановке железнодорожного поезда, разрушительными действиями урагана, последствиями удара артиллерийского снаряда и т. п. Не надо, впрочем, слово «энергия» непременно связывать с чем-то

огромным, разрушительным. Энергией будет всякий источник работы, как бы велика или мала она ни была. Энергией обладает не только ураган, но и самое слабое дуновение, могущее сдвинуть лишь пылинку.

На совершаемую им работу движущееся тело расходует свою энергию; если последняя не пополняется каким-либо образом, то тело утрачивает свою скорость — останавливается. Мы в самом деле видим, что тело, получившее, например, толчок вдоль горизонтальной плоскости, хотя и продолжает по «размаху» или по инерции двигаться, но движется все медленнее и, наконец, останавливается. Оно продолжало бы двигаться безостановочно только в том — воображаемом — случае, если бы по пути не встречало никаких сопротивлений, на преодоление которых ему приходится расходовать сообщенную ему толчком энергию.

129. Энергией мы называем «способность к работе». Но положим, что груз поднят на некоторую высоту. Он может упасть. Падая, он в состоянии подбросить (поднять) другой груз, взрыть землю, разбить какой-нибудь предмет или сам разбиться, словом, — преодолеть различные сопротивления. Очень обыкновенный пример этому представляет вколачивание свай посредством падающего груза (бабы). Поднятый груз способен произвести работу. Мы тоже скажем, что он обладает энергией. Чем больше его вес и высота, на которую он поднят, тем, конечно, больше запасенная им энергия, — тем большую работу он может совершить, возвращаясь в свое первоначальное положение.

Энергией обладает запруженная — следовательно, могущая падать — вода. Запруженную воду можно в этом отношении сравнить с приподнятым над землею грузом. Падая с более высокого уровня на более низкий, вода может двигать мельницу, преодолевая сопротивление ее механизма и производя кроме того всем известную полезную работу.

Бóльшая или меньшая энергия свойственна сжатой или растянутой пружине, сжатому газу, — вообще телу, форма или объем которого были насильственно изменены (на что была затрачена работа); это едва ли нуждается в пояснении.

130. Из приведенных примеров видно, что энергия свойственна не только движущемуся телу; ею может обладать и тело, находящееся в покое, если оно в любой момент, так сказать, готово к движению. В первом случае мы имеем дело с энергией движения. Энергия тела, находящегося в покое, называется энергией положения, и вот почему: если посмотреть на дело ближе, можно подметить, что энергия именно зависит от того или иного положения тела относительно другого

или от положения частей тела относительно друг друга. Поднимая груз, мы ведь изменяем положение груза относительно земли; сжимая или растягивая пружину, мы изменяем взаимное расположение ее частей; в обоих случаях мы затрачиваем на это ту или иную энергию. Мы можем сказать' что в приведенных выше примерах встречаем энергию в двух «видах» или «формах»: в виде энергии движения и энергии положения. Добавим, что энергия движения очень часто называется также иностранным словом *кинетическая энергия*, а энергия положения — словом *потенциальная энергия*.

II. Измерение работы и энергии.

131. О величине или *количестве* энергии судят по ее действиям, по величине работы, которую она может совершить. А как измерять работу? Самый простой пример работы состоял бы в поднятии груза по отвесному направлению, т.-е. в преодолении силы тяжести, *без каких-либо иных сопротивлений* (вроде трения и пр.), — случай, искусственно упрощенный, но с которого удобно начать. Что принять здесь за *единицу работы*? Конечно, некоторую определенную, условно взятую работу. За такую единицу работы в науке и технике часто принимают работу поднятия 1 килограмма на высоту 1 метра. Носит она название *килограмметр* (сокращенно *кгм*). Пусть груз в 3 килограмма поднят на высоту 20 метров. Поднять 3 *кг* на 1 *м* — то же, что поднять 3 раза по 1 *кг* на 1 *м*, а поднять 3 *кг* на 20 *м* значит совершить работу, еще в 20 раз большую; следовательно работа поднятия 3 *кг* на 20 *м* в 60 раз (= 20 × 3) больше принятой нами единицы, т.-е. она равна 60 килограмметрам. Нетрудно сообразить, что тем же 60 *кгм* будет численно равна и работа поднятия 20 *кг* на 3 *м*, 60 *кг* на 1 *м*, 1 *кг* на 60 *м*, и т. д. Число килограмметров можно любым образом разложить на два множителя, из которых один будет обозначать вес груза в килограммах, а другой—высоту поднятия в метрах.

132. Рассмотрим теперь на одном примере, как может быть изменена работа против других сопротивлений, кроме силы тяжести. Когда мы тащим груз по горизонтальной плоскости (на рис. 153 направление движения обозначено стрелкою), мы не преодолеваем его тяжести, потому что не поднимаем груза. Но груз, вследствие тяжести, надавливает на плоскость, и это причиняет трение, которое именно и приходится преодолевать. Величина трения при той же величине груза, конечно

может быть очень различна в зависимости от того, каковы соприкасающиеся поверхности, находится ли груз на колесах и пр. Преодолевая трение, мы тоже совершаем работу. При этом мы тянем предмет (рис. 153), например за горизонтальную веревку, с определенным усилием, как будто за ту же веревку поднимали некоторый подвешенный на блоке груз (рис. 154). Следовательно, и в этом случае величину преодолеваемого сопротивления можно выразить в весовых единицах — в килограммах.

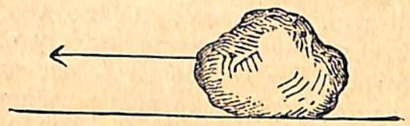


Рис. 153.

Положим, что лошадь равномерно движет по рельсам нагруженную повозку (рис. 155), и что при том же самом усилии она могла бы поднимать за веревку груз в 50 килограммов (рис. 154). Тогда мы скажем, что преодолеваемое ею сопротивление (трение) равно 50 килограммам. Если при этом усилии лошадь протащила повозку на 20 метров, то она произвела такую же работу, как если бы подняла за веревку груз в 50 килограммов на 20 метров высоты. Но это же действие может быть произведено какимнибудь механическим двигателем; перенося сказанное и на этот случай, мы видим, что совершонная двигателем работа равна работе поднятия 50 килограммов на 20 метров, или 1000 килограмметрам.

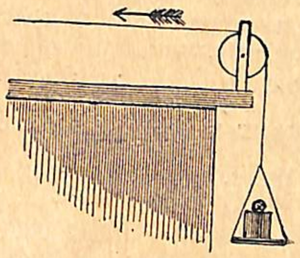


Рис. 154.

Представим теперь себе, что камню взмахом руки была сообщена известная скорость полета. Сколько работы может совершить камень, затратив на нее всю сообщенную ему энергию? Направим камень *с этой скоростью* отвесно вверх и посмотрим (или вычислим, что легко делается по формулам механики), на какую высоту он поднимется. Тогда, как раньше, по весу камня и высоте его поднятия мы сможем судить об энергии, сообщенной ему рукою, по сравнению, например, с энергией, приобретаемой грузом в 1 килограмм при поднятии его на 1 метр. Конечно, эти способы измерения энергии основаны на нашей уверенности, что при переходе энергии движения в энергию положения и обратно *общее количество энергии остается одно и то же*, —

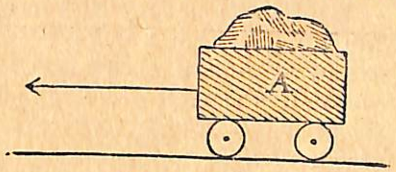


Рис. 155.

что энергия в подобных случаях только преобразовывается, но не исчезает бесследно и не возникает из ничего. Эта уверенность дается всем нашим житейским опытом и подкрепляется опытом научным для более широкого круга явлений; впрочем, встречаются и трудности, о которых мы поговорим дальше.

133. Вопросы. 1) Вода падает с обрыва высотою в 10 *м*. Какая работа совершается у основания водопада каждым куб. метром воды? Работа равна той, какую нужно затратить, чтобы поднять куб. метр воды, весящий одну тонну или 1000 *кг* на 10 *м*, т.-е. $1000 \times 10 = 10000$ *кгм*.

2) Положим, что напором сильного ветра был сдвинут по горизонтальным рельсам и катится равномерно, т.-е. с постоянной скоростью, вагон весом в 12000 *кг*. Как велика работа передвижения вагона на 100 *м* пути, т.-е. работа, совершаемая силою ветра? Для ответа, конечно, нужно знать величину преодолеваемого сопротивления. Ее можно определить или с помощью силомера (§ 68), или зная из таблиц, — составленных на основании опытов,—какую долю веса вагона, катящегося по рельсам, составляет сила трения. Обычно ее считают в $\frac{1}{200}$ веса; следовательно в нашем случае она $= 60$ *кг*. Итак, работа перемещения вагона по горизонтальному пути на 100 *м* равна работе поднятия груза в 60 *кг* на 100 *м* — будет 6000 *кгм*. Почему в условии задачи сказано: катится «равномерно»? Подумайте: если бы движение ускорялось, то какой новый, все увеличивающийся запас энергии приобретал бы вагон. Не потребовалась ли бы на это еще добавочная работа ветра? В каких еще видах, т.-е. поднятием какого груза на какую высоту, можно представить работу в 6000 *кгм*?

3) Какую работу может совершить пушечное ядро, весящее 200 *кг*, имеющее в момент удара скорость 800 *м* в сек.? По формулам механики очень просто вычисляется [1]), что если бы ядро с этой скоростью было пущено отвесно вверх, то оно в отсутствии воздуха достигло бы высоты 32 *км* (30 вер.). Работа поднятия ядра найдется умножением его веса на высоту поднятия, т.-е. будет $200 \times 32000 = 6400000$ *кгм*. Такова, следовательно, кинетическая энергия ядра. Чтобы составить себе наглядное

[1]) Для интересующихся, пожалуй, заметим, что для этого скорость, умноженную самое на себя (квадрат скорости), делят на 2.9,8 или округленно на 20 (скорость предполагается выраженной в метрах в сек.).

понятие о ее величине, изобразим 6400000 *кгм* в виде произведения 6400×1000, а именно в виде работы поднятия 6400 *кг* на 1000 м. Груз в 6400 *кг* = почти 400 пуд., а 1000 *м* немногим меньше версты. Итак, если бы всю энергию движения снаряда можно было бы использовать на поднятие груза, то 400 пуд. были бы подняты на высоту около версты. Высота Исаакиевского собора в Ленинграде около 50 саж., т.-е. около 100 *м*. Какой груз был бы поднят на эту высоту при затрате той же работы? [1])

III. Превращения, или преобразования энергии. Тепловая энергия, или теплота.

134. Сплошь и рядом мы видим, что энергия движения переходит или преобразовывается в энергию положения, и наоборот. Вы бросили отвесно вверх камень: затратив нечто из энергии вашего организма, вы сообщили камню энергию движения. По мере поднятия энергия движения камня уменьшается, потому что уменьшается его скорость; но энергия положения камня возрастает, потому что чем выше камень над земной поверхностью, тем больше работа, которую он может совершить, падая с этой высоты. Когда камень достигнет высшей точки своего пути, вся сообщенная ему энергия движения будет утрачена, а энергия положения достигнет наибольшей величины. При падении камня произойдет как раз обратное. Целый ряд преобразований энергии положения в энергию движения и обратно превосходно прослеживается на примере качаний маятника, состоящего в простейшем виде из подвешенного на нити грузика (§ 118). Отклонив маятник от положения равновесия, мы тем самым приподнимаем подвесок и следовательно сообщаем ему некоторый новый запас энергии положения. Если отнимем руку, то подве-

[1]) При определении величины работы в этих и подобных случаях начинающий может встретить следующее затруднение. Мы говорим то о работе, совершаемой движущимся телом против сопротивления, то о работе силы, движущей тело. Скажут: если сила движет тело против сопротивления, т.-е. преодолевает его, то она больше, чем сопротивление, а следовательно и работа ее должна быть больше работы, идущей на преодоление сопротивления. Чтобы избежать этого усложнения, и вводится важное условие равномерности движения. При равномерном движении движущая сила как раз уравновешивается сопротивлением — тело движется как бы по инерции, вследствие раз сообщенной ему скорости, — а работа силы идет только на работу против сопротивления. Если же движение ускоряется, то часть работы, совершаемой силою, расходуется еще на сообщение телу все новой и новой скорости, т.-е. на увеличение его кинетической энергии.

сок начнет двигаться по дуге BC, приближаясь к земле, — падать. Как и при свободном падении (в разобранном раньше примере), энергия движения подвеска при этом увеличивается, потому что возрастает скорость движения, а энергия положения уменьшается; в момент прохода чрез положение равновесия (A) вся энергия подвеска, сообщенная ему поднятием, превратилась уже в энергию движения, которая в этот момент достигает наибольшей величины. Во второй половине пути происходит обратное — преобразование энергии движения в энергию положения: первая мало-помалу уменьшается, а вторая — возрастает.

Положим еще, что мы сжали пружину и тем сообщили ей некоторый запас энергии. Если предоставим пружину самой себе, она расширится и может толкнуть какое-нибудь прикасающееся к ней тело: последнее приобретает тогда энергию движения на счет энергии сжатой пружины. Ход пружинных часов — пример постепенного преобразования энергии заведенной пружины в энергию движения частей часового механизма; если часы идут несколько дней после того, как они были заведены человеком, вскоре умершим, то в течение этого времени целым рядом движений в часах проявляется, быть может, последняя сознательная затрата энергии покойного...

135. От видимых движений тела, как целого, перейдем к недоступным зрению малейшим движениям его молекул, которые воспринимаются нами как теплота (§ 26). Для физики т е п л о т а — тоже вид или форма энергии, именно — энергия молекулярного движения. Присмотритесь вокруг, и вы заметите, как часто тело нагревается при движении или вследствие движения, именно при трении, ударе, сжатии. Разгорячение металлической пуговицы при трении о сукно, пилы при распиливании дерева, колесных осей и втулок при быстром движении и плохой смазке, металлов при обточке и сверлении их машинами—все это примеры общеизвестные. Озябшие руки мы согреваем трением их одна о другую. Проткните вязальную спицу туго сквозь пробку и быстро водите ею вперед и обратно по спице, а потом возьмитесь пальцами за самую спицу или быстро протащите между пальцами бечевку, как можно туже сжимая ее: в обоих случаях вы можете получить настоящий ожог. Очень часто также наблюдается появление теплоты при у д а р е и с ж а т и и. О разгорячении шляпки гвоздя при ударах уже упоминалось в главе I. Быстрыми и сильными ударами кузнечного молота по куску железа удается довести последнее до каления. Свинцовая пуля, выпущенная из ружья, при ударе о неподвижное препятствие может расплавиться. Пушечное ядро, ударившись о мишень, может накалиться докрасна. При ударе о камень лошадиной подковы оторва-

вшиеся от нее частицы железа накаливаются и сгорают (припомним также «высекание огня» о кремень). Если быстро сжать воздух в цилиндре посредством плотно пригнанного поршня, то воздух нагревается до температуры, достаточной для воспламенения некоторых горючих материалов («воздушное огниво», рис. 156). Зачастую источниками теплоты бывают трение, удар и сжатие вместе. Прекрасный пример мы имеем в явлении так называемых «падающих звезд» или метеоритов.



Рис. 156. Воздушное огниво.

Небольшое тело (какие во множестве обращаются вокруг солнца), влетая в атмосферу с огромною скоростью — нескольких десятков и до сотни верст в секунду — сильно накаливается и издает яркий свет. Здесь причинами накаливания являются и удар об атмосферу, и трение о воздух, и его сжатие.

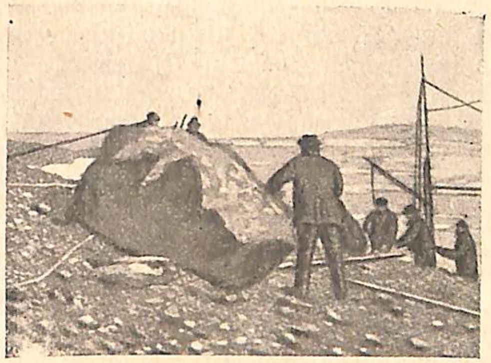


Рис. 157. Метеорит.

На рис. 157 представлен один из упавших на землю больших метеоритов [1]).

Как физики объясняют себе происхождение теплоты в подобных случаях? Теплота рассматривается ими как энергия быстрого движения частиц или молекул тела; все, что ускоряет молекулярное движение, является источником нагревания, источником теплоты. Когда одно тело трется о другое, поверхностные частицы сталкиваются, соударяются, — движение их ускоряется и ускоряет движение соседних частиц. При ударе одного тела о другое энергия видимого движения ударившихся тел частью или вполне расходуется на увеличение энергии

[1]) Высота, на которой проносятся метеориты, иногда превышает 250 километров. Следовательно, до этих высот еще простирается земная атмосфера; лишь благодаря огромной скорости метеоритов, присутствие воздуха здесь еще заметно по их раскаливанию, несмотря на то, что воздух на этих высотах в чрезвычайной степени разрежен.

*

невидимого движения частиц [1]). Вот как смотрят на дело в физике.

136. В рассмотренных выше случаях возникновения теплоты при трении, ударе, сжатии, теплота является как следствие преодоления движущимися телами некоторых сопротивлений, при чем скорость движения тел—если она не поддерживается как-нибудь со стороны—уменьшается и сводится к нулю. Можно сказать короче, что теплота является здесь как следствие затраты энергии движущимися телами, что их энергия преобразовывается в энергию невидимого нам молекулярного движения.

Но не может ли энергия молекулярного движения, в свою очередь, преобразовываться в энергию видимого движения, движения тела, как целого? Без сомнения, может: лучший пример—паровая машина. В топке машины сжигают горючий материал, доставляющий теплоту. Она превращает воду в пар и сильно нагревает этот пар. Молекулы горячего пара, быстро двигаясь, производят бесчисленные удары о поршень, перемещаются в цилиндре машины, и приводят поршень и главное колесо машины в движение. Энергия движения самих молекул при этом уменьшается—пар охлаждается при расширении—и должна быть непрерывно поддерживаема новым и новым притоком тепловой энергии. Паровая машина преодолевает различные сопротивления, т.-е. совершает работу; другими словами, она является источником энергии, которая, следовательно, заимствуется ею от энергии молекулярного движения. В малом виде мы встречаем то же самое, когда нагретый в сосуде воздух выбрасывает из его горла плотно вставленную пробку. Сравнение будет еще ближе, если вскипятим немного воды в латунной трубке, крепче заткнув ее отверстие: пробка с сильным треском будет выброшена [2]).

В физике давно поставлен и решен вопрос о том, сколько именно тепловой энергии можно получить, затратив определенное количество работы, и, наоборот,—сколько работы может быть

[1]) При ударе твердого тела о колокольчик последний звонит. Вот тоже пример преобразования энергии движения тела, как целого, в энергию мелких (колебательных) движений частей тела, движений, которые, передаваясь чрез посредство воздуха нашему уху, производят в нас ощущение звука. Но в случае перехода кинетической энергии тела в «тепловую» форму возникающие движения еще гораздо мельче и быстрее: они воспринимаются нами совсем иначе — как теплота.

[2]) Кстати. Если трубку не удерживать неподвижно, а подвесить в наклонном положении, то в момент вылета пробки трубка будет несколько отброшена в противоположную сторону: хороший пример «отдачи» при выстреле, о которой упоминалось в § 12.

доставлено израсходованной на нее тепловой энергией. Оказалось, что это отношение строго постоянно и нисколько не зависит от того, какими способами работа преобразовывается в теплоту или обратно: развивается ли теплота при трении, ударе, сжатии тел, или расходуется на работу паровой машиной, организмом животного и пр. Вот что особенно достойно внимания и что именно привело к уверенности, что теплота есть вид энергии. В следующей главе мы обратимся к более близкому ознакомлению с явлениями, производимыми в телах сообщением и отнятием тепловой энергии.

IV. Обзор и добавления.

137. Работой называют преодоление сопротивлений, а энергией—способность совершать работу.

Работа всегда связана с перемещением чего-нибудь, с движением: нет движения,—нет и работы.

Энергия покоящегося тела называется энергией положения или потенциальной энергией, энергия движущегося тела—энергией движения или кинетической энергией.

Единица работы и энергии — килограмметр. Это работа, затрачиваемая при поднятии 1 килограмма на высоту 1 метра.

Работа, которая совершается для преодоления какой-либо силы, измеряется произведением работающей (или преодолеваемой) силы на длину пути, на котором производится работа.

Энергия тела, поднятого над земной поверхностью, равна произведению из веса тела (в килограммах) и высоты подъема (в метрах).

Энергия движущегося тела тем больше, чем больше масса тела и его скорость.

По поводу слово «энергия» надо еще заметить следующее. Непривычному не сразу дается различие его от слова «сила». Но «сила» понимается в физике в смысле тяги или давления: силою называют причину, которая или сдвигает тело с места, или изменяет уже существующее движение (см. § 123). Сила обычно измеряется весовыми единицами. Энергия же есть способность к работе и измеряется единицами работы. С какою силою давит на землю груз в 3 килограмма? Конечно, с силой трех килограммов. С такой же силой давит он на опору, когда поднят на высоту 20 метров. Но энергия груза постепенно увеличилась при поднятии, потому что на это была затрачена работа. Упав на прежнее место, груз может доставить 60 килограмметров работы, которой не дал бы, если бы остался лежать на месте.

Энергия из одной формы может переходить в другую—из потенциальной в кинетическую и обратно (примеры, падение тела, движение тела вверх по отвесному направлению: качания маятника и т. п.). При этих превращениях (преобразованиях) общее количество энергии остается неизменным: энергия не исчезает бесследно и не возникает из ничего.

Особую форму энергии составляет теплота, зависящая от движения молекул.

Теплота очень часто получается при трении, ударе, сжатии. Во всех этих случаях теплота является, как следствие затраты энергии движущимися телами; их энергия преобразовывается в энергию невидимого нам молекулярного движения. В других случаях, как, например, в паровой машине, мы имеем преобразование энергии молекулярного движения в энергию видимого движения, движения тела, как целого.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ.

Источники теплоты. Расширение и сжатие тел при изменении температуры. Распространение теплоты.

I. Об источниках теплоты.

138. Откуда и как берется теплота или тепловая энергия? Конечно, прежде всего, она доставляется нам солнечными лучами, потом—горением топлива. Но это только бьющие в глаза примеры—источники нагревания, без которых мы не могли бы существовать. В действительности, теплота происходит и различными другими путями, например, при трении, ударе, сжатии,—на это нами было уже обращено внимание выше (§ 135). Там же было сказано, что физик истолковывает себе развитие теплоты в подобных случаях увеличением скорости движения молекул. А что он скажет про горение?

Когда горючий материал начинает соединяться с кислородом, атомы горящего тела и кислорода с большой быстротой устремляются друг к другу, чтобы образовать новое целое: это и способствует усилению энергии молекулярного движения.

На самом деле источников теплоты еще гораздо больше, но мы их не можем тут все перечислять. Обратим лишь внимание вот на что. Когда более нагретое тело соприкасается с менее

нагретым, более быстрое движение молекул первого мало-по-малу передается молекулам второго — «степень нагретости» или температура тел стремится к выравниванию. Теплыми руками мы нагреваем более холодный предмет, при чем поверхность руки в месте соприкосновения с этим телом временно охлаждается. Натопленная печь, согревая воздух в комнате, остывает. Вообще можно сказать, что теплота сама собою, без всякого постороннего вмешательства, всегда переходит от тел более нагретых, более теплых—к менее нагретым, более холодным. Другими словами, более нагретое тело является источником теплоты по отношению ко всякому другому, более холодному. Солнце, как огромное чрезвычайно раскаленное тело, конечно, является главным источником теплоты для нашей сравнительно с ним холодной земли: благодаря ему поддерживается движение и жизнь на всем земном шаре.

II. Расширение и сжатие твердых тел и жидкостей.

139. Твердые и жидкие тела, за немногими исключениями, при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются. Так как их расширение и сжатие по величине незначительно, прямо сказать—ничтожно мало, то для наглядного обнаружения того и другого придумано множество опытов. Удлинение гвоздя при нагревании мы имели случай наблюдать выше (стр. 23, рис. 1). Сходный опыт с кружком см. рис. 158. Следующий рисунок (159) показывает, как сделать заметным для глаза удлинение металлического стержня. Наконец, вот простой опыт, обнаруживающий расширение и сжатие стекла. Берут склянку со стеклянной пробкой, вынимают пробку и нагревают горло под пламенем; потом вкладывают пробку и дают охладиться: пробка

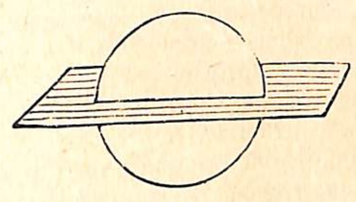


Рис. 158.

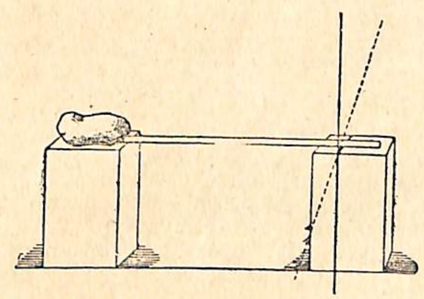


Рис. 159. Металлический стержень, удлиняясь при нагревании, катит иглу, на которую опирается, вследствие чего указатель отклоняется от первоначального положения.

прочно застрянет и, чтобы ее вынуть, придется снова нагреть горло [1]).

Перемена температуры может изменить и форму тела, например, если оно в разных частях нагревается неодинаково. Как вы

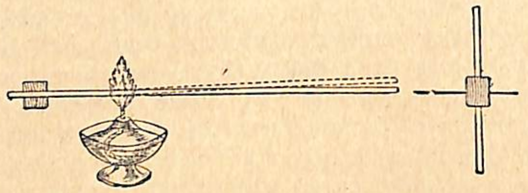


Рис. 160. Стеклянная трубка одним концом закреплена неподвижно. При нагревании свободный ее конец отгибается кверху, а по охлаждении возвращается в прежнее положение.

объясните себе явление, изображенное на рис. 160? Хрупкое тело при быстром и неравномерном нагревании иногда не выдерживает разницы в расширении и разрушается, трескается. Так, толстостенные стеклянные стаканы часто лопаются при внезапном вливании кипятку. Быстрое охлаждение хрупкого материала может привести к тому же: горячее ламповое стекло растрескивается, если брызнуть на него водой. Чтобы измельчить кусок кварца (очень твердый, похожий с виду на стекло, камень), проще всего нагреть его в угольях до ярко-красного каления и бросить в воду.

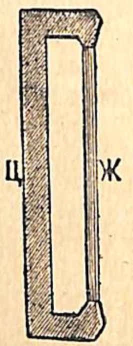


Рис. 161. Между выступами цинковой пластинки вставлена железная палочка. При погружении всего прибора в теплую воду железная палочка, удлиняющаяся менее цинковой пластинки, выпадает.



Рис. 162. Прямая железная пластинка, покрытая с нижней стороны слоем олова, при нагревании изгибается дугою, при чем оловянный слой образует собою наружную (выпуклую) сторону дуги (II): олово расширяется больше железа.

140. Разные твердые тела при одинаковом повышении температуры расширяются в очень различной мере. Например, если два равной длины стержня, железный и цинковый, нагреть на одно и то же число градусов, то прибавка длины цинкового окажется почти вдвое больше, чем железного. Рис. 161 и 162 и поясняют

[1]) Кстати, хороший способ вынимать туго засевшие пробки. Надо заметить, что пробка и горло имеют слегка коническую—суживающуюся книзу—форму; в чем бы разнился наш опыт, если бы они были всюду одинакового диаметра?

два простых опыта, какими можно обнаружить различное удлинение полосок из железа и цинка, железа и олова.

Расширение жидкостей при нагревании вообще больше, чем твердых тел, а особенно легко заметно тогда, когда полное (объемное) расширение жидкости в сосуде перемещает жидкость в более узкой его части (в горле, в тонкой трубке). Достаточно нагреть воду в колбе с пометкою уровня на горле, опустив колбу в горячую воду, чтобы заметить увеличение объема (рис. 163). При этом обнаруживается также изменение объема самой колбы, т.-е. объемное расширение стекла. (При опускании в горячую воду вода в трубке сперва немного опускается.) Значительно больше воды расширяется керосин.

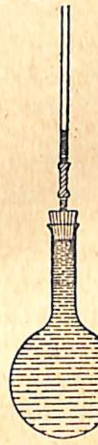


Рис. 163.



Рис. 164. Склянка плавает в холодной воде и тонет в теплой.

Надо заметить, что вода представляет интересную особенность: она сжимается лишь при охлаждении до 4 градусов по стоградусному термометру Цельсия; при дальнейшем же охлаждении она расширяется вплоть до самого замерзания.

С расширением и сжатием ртути при нагревании и охлаждении мы имеем дело в наших термометрах. По перемещению ртутного столбика именно и судят о переменах «температуры».

141. Один и тот же объем тела, расширяющегося при нагревании, конечно, будет весить меньше в нагретом состоянии, чем в ненагретом. Это легко заметить, например, взвешивая одинаковые объемы (в колбе до черты) комнатной и горячей воды. «Плотность» нагретой воды меньше, чем комнатной. То же хорошо обнаруживается опытом рис. 164.

142. Вопросы. 1) Из чего видно, что длина железнодорожных рельсов больше в жаркий летний день, нежели в холодный зимний? (Обратите внимание на промежутки между рельсами. Что могло бы произойти при значительных переменах температуры, если бы рельсы были уложены вплотную [1]).

[1]) Рельсы, конечно, нагреваются (от трения) и после прохода поезда, но это нагревание сравнительно ничтожно и во всяком случае гораздо меньше, чем обыкновенно думают. (Другое дело—расплющенная колесами вагона медная монета: она становится очень горячею.)

2) Для чего железная шина надевается на обод колеса горячею?

3) Всегда ли телеграфные проволоки одинаково отвисают книзу?

4) Почему чаще трескаются от кипятку именно толстостенные стаканы? Отчего колба и другие стеклянные сосуды, назначаемые для нагревания пламенем, делаются из очень тонкого стекла?

5) В железной заслонке печи и в чугунных трубах часто слышится потрескивание во время их нагревания и охлаждения; такое же потрескивание, когда кругом тихо, нередко можно слышать и в ж.-д. рельсах. Чем объяснить его, принимая во внимание неизбежные изменения размеров частей с переменами температуры?

6) Отчего нагревшаяся вода выливается из сосуда, если холодная наполняла его до краев. (Очень просто сделать опыт с жестяной кружкой.) Произойдет ли это только во время кипения или еще раньше этого? (По какой совсем другой причине выбрасывается из самовара закипевшая уже вода — когда, как говорят. самовар «уходит»?)

7) Если при нагревании объем жидкости увеличивается, несмотря на расширение сосуда, то что должно вообще заключить о расширении жидкости сравнительно с расширением материала сосуда?

8) Наблюдаемое (видимое) нами увеличение объема жидкости в сосуде есть ли ее действительное расширение? Как должно отзываться расширение сосуда?

9) Не должна ли плотность твердых тел уменьшаться по мере нагревания? (Будет ли кубик из какого-нибудь материала в нагретом состоянии весить столько же, как такой же величины кубик в холодном? Сравнить опыт с водой—рис. 164.)

10) Указать из собственных наблюдений и описаний еще какие-нибудь интересные примеры расширения и сжатия тел при изменении температуры [1]).

[1]) Не надо смешивать с ними (а это часто делают) других явлений, сходных только, повидимому. Сюда, например, относится весьма заметное увеличение объема частей нашего тела при их разгорячении: кольцо, свободно надевающееся на палец руки в обыкновенном ее состоянии, может оказаться тесным, если рука горяча. Этого рода явления сложнее тех, о которых идет речь: они зависят, главным образом, от прилива крови к разгоряченным органам и более сходны с разбуханием скважистых тел вследствие впитывания жидкости. С другой стороны, некоторые скважистые тела при продолжительном нагревании сжимаются (съеживаются) вследствие усыхания, т.-е. испарения воды, содержавшейся в скважинах,—так сжимается сырая глина, съеживаются многие плоды; здесь мы опять имеем дело с явлениями совсем иного рода.

143. Расширение и сжатие тел при изменении температуры может производить огромное давление на преграды. Чугунная бомба, будучи наполнена водою и плотно заделана, разрывается, если нагреть ее в достаточной степени. Сжатием твердого тела при охлаждении удается выпрямлять покосившиеся каменные стены. Натяжение, которого при этом можно достичь, если концы стержня закреплены, зависит от крепости его материала: оно, конечно, не больше того, какое в состоянии выдержать стержень. Остывая после нагревания, толстый железный стержень может разорваться, если концы его укреплены достаточно прочно.

144. Увеличение объема (уменьшение плотности) твердого или жидкого тела при нагревании есть следствие раздвижения его частиц (молекул). «Температура тела повышается» — это значит, что молекулы его начинают двигаться быстрее, делать большие размахи: от этого общее пространство, заполняемое частицами, увеличивается. Выражаясь попросту, можно сказать, что нагревающееся тело как бы разрыхляется. Связь частиц тела между собою с нагреванием становится слабее. В особенности это заметно на телах твердых, которые с повышением температуры вообще делаются менее прочными. Некоторые твердые тела при достаточном нагревании настолько размягчаются, что их легко подвергать тогда различным обработкам. Таковы, например, железо, стекло; с размягчением стеклянных трубок в пламени спиртовой лампы мы имели дело выше [1]).

III. Изменение объема и упругости газов.

145. Мы уже имели случай видеть, что воздух, нагреваемый в сосуде, из которого есть выход, увеличивается в объеме, расширяется (§ 2). На рис. 165 изображен приборчик, который делает это, пожалуй, еще заметнее. Можно бы подумать, что при охлаждении воздух, подобно твердым телам и жидкостям, непременно будет сжиматься. Но такое заключение было бы поспешно и неверно. Не забудем, что отличительная черта всякого «газа» — его постоянное стремление расширяться: его быстро движущиеся частицы, сдерживаемые почти что только взаимными столкновениями, скоро заполняют всякое предоставленное им пространство.

[1]) Надо заметить, что с переменою температуры тел изменяются в большей или меньшей степени многие их свойства. Кусок стекла при комнатной температуре и тот же кусок, нагретый хотя бы теплотою руки, уже не тождественны между собою: утонченное исследование откроет в них, кроме указанной разницы в плотности, еще и другие различия, совершенно исчезающие для поверхностного наблюдения.

Сам собою газ сжиматься не может: нужно какое-либо давление на него извне. И такое давление обычно существует: это именно атмосферное давление. Воздух, охлаждающийся в закупоренной склянке, конечно, не отходит от ее стенок — не собирается в комочек, а продолжает заполнять собою всю склянку; но охлажденный *воздух с меньшей силою, чем прежде, стремится к расширению*, потому что частицы его движутся медленнее: другими словами, давление его изнутри ослабевает, и если теперь открыть склянку, то атмосферное давление, пересиливая, *заставляет его сжаться*.

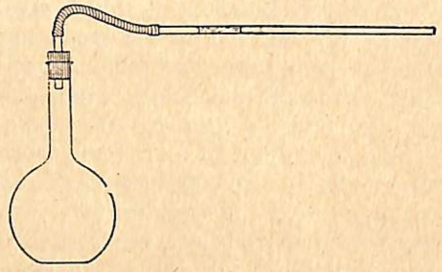


Рис. 165. При нагревании колбы капля воды в трубке продвигается к открытому концу, обнаруживая изменение объема воздуха.

Присоединим две одинаковых колбы к согнутой V-образно стеклянной трубке, в которую налито немного воды (рис. 166). Воздух в колбах давит с той и другой стороны на воду, и по ее положению можно судить, с которой стороны давление сильнее; при равенстве давлений вода в обеих ветвях трубки держится на одинаковой высоте (на одинаковом уровне). Стоит лишь нагреть одну из колб, и перемещение воды тотчас покажет, что давление воздуха в ней усилилось, что воздух в другой колбе сжимается перевесом давления в первой; при достаточном нагревании воздух частью перейдет из нагретой колбы в ненагретую. При охлаждении затем колбы, несколько сжатый в другой колбе воздух пересилит, вода переместится обратно, и немного воздуха перейдет в охлаждающую колбу. Отнимем теперь одну из колб (рис. 167): тогда на воду в открытой ветви изогнутой трубки будет неизменно давить наружный (атмосферный) воздух. При нагревании колбы давление в ней пересилит, и воздух начнет выходить. Теперь будет достаточно нагревания гораздо более слабого (даже рукою), чтобы

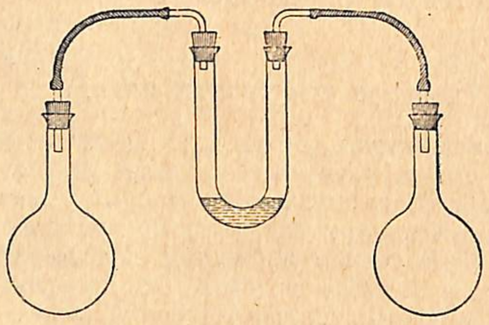


Рис. 166.

перемещение воды было заметно, потому что противодействие расширению меньше прежнего. Поднятие воды в открытой ветви ясно указывает на увеличение давления внутреннего воздуха. Охлаждая колбу, увидим, что вода, опустившись, начнет подниматься в другой (закрытой) ветви: признак, что давление охлаждающегося воздуха уменьшается. Теперь нагреем колбу настолько, чтобы вода в открытой ветви поднялась до самого выходного отверстия и тогда плотно заткнем его. При охлаждении затем колбы столб жидкости в этой ветви *не падает*, следовательно, *объем воздуха* — сам собою *не уменьшается*. Если же откроем отверстие, то жидкость сразу будет втолкнута пересиливающим теперь атмосферным давлением. Быть может, после этого вода установится в той ветви, которая сообщена с колбой; что это означает? При каком положении уровня воды в обеих ветвях трубки можно будет сказать, что давление воздуха в колбе как раз равно атмосферному? Не будь атмосферного давления, газ в нашей колбе не только не стал бы сжиматься при охлаждении, но даже не мог бы остаться в ней при открытой с конца трубке: он тотчас расширился бы и рассеялся бы в пространстве.

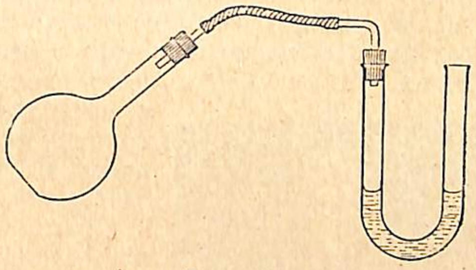


Рис. 167.

146. Стоит сделать еще несколько опытов, чтобы хорошенько уяснить себе сущность дела. О выбрасывании пробки из колбы при нагревании в ней воздуха мы уже упоминали в § 2. Давлением нагретого воздуха можно заставить бить воду фонтаном (рис. 168).

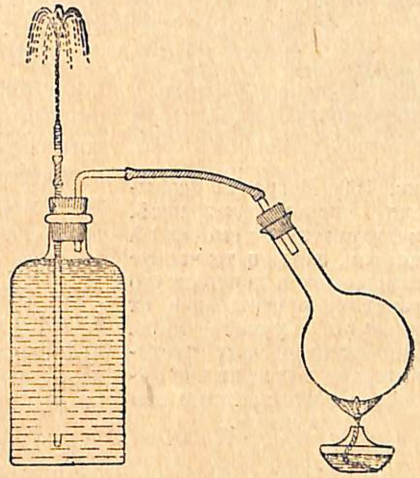


Рис. 168.

Ослабление давления воздуха, охлаждаемого в закрытом помещении, показывают следующие опыты. В стакан всовывают клочок зажженной бумаги и тотчас же опрокидывают стакан краями в глубокую тарелку с водой: нагре-

тый сперва в стакане (и частью вышедший из него) воздух охлаждается, и вода поднимается в него вследствие перевеса атмосферного давления: по привычке вы бы сказали — «всасывается» или «втягивается» в стакан. Нагревают хорошенько колбу пламенем спиртовой лампы, плотно закупоривают, дают вполне охладиться и, опрокинув горлом в воду, открывают под водой: вода тотчас вгоняется в нее перевесом атмосферного давления. Наконец, интересный опыт можно сделать с круто сваренным яйцом (рис. 169): пересиливающим атмосферным давлением оно втискивается в графин, в котором воздух был сперва нагрет.



Рис. 169. В графин всовывают клочок зажженной, предварительно смоченной спиртом, ваты и тотчас же вкладывают в горло круто сваренное и очищенное от скорлупы куриное яйцо. Яйцо мало-по-малу протискивается в графин и обыкновенно разрывается в нём на части.

Итак, особенности, замечаемые при нагревании и охлаждении газа—сравнительно с твердыми и жидкими телами—стоят в прямой связи с его основным свойством: постоянно производить давление на заключающую его оболочку, давление, которое возрастает с повышением температуры и уменьшается с ее понижением.

При наших опытах с воздухом вы, конечно, не могли не заметить, что он расширяется при нагревании в открытом сосуде, находясь под обыкновенным атмосферным давлением, в гораздо большей мере, чем жидкости и твердые тела; то же относится и до других газов.

147. Вопросы. 1) Жидкости и твердые тела тоже давят на преграду, препятствующую их расширению, и притом чрезвычайно сильно (§ 60). Но нужно ли непременно какое-либо внешнее давление, чтобы жидкость или твердое тело стали сжиматься, если их охлаждать?

2) Более сильное давление нагреваемых твердых тел и жидкостей на преграды, чем газов, не связано ли весьма различною сжимаемостью? (Обратить внимание на силу, которая нужна, чтобы нагретое и расширившееся при нагревании тело—твердое, жидкое или же газообразное — привести к его первоначальному объему.)

3) Можно ли достаточно долгим нагреванием — заручившись терпением — удалить весь воздух из колбы? (Чем же в таком случае был бы выгнан последний остаток воздуха?) При

нагревании в хорошем пламени спиртовой лампы он расширяется приблизительно до объема, вдвое большего, чем первоначальный. Какая доля прежнего воздуха останется в колбе, если закупорить ее нагретою? [1]).

IV. О мере расширения тел от нагревания.

148. С переменами температуры, как мы уже знаем, изменяются размеры тела и его объем. Изменения эти в случае твердых и жидких тел обыкновенно так малы, что для самого обнаружения их приходится придумывать различные приемы. Казалось бы, что на расширение и сжатие их незачем и обращать внимание. Но стоит лишь собрать в памяти несколько примеров, чтобы убедиться в противном. Если расширяющееся тело не находит себе достаточно места, то оно разрушает самые прочные препятствия. Всякая линейка, служащая масштабом для измерения, при переменах в температуре, изменяется в длине, а это, при сколько-нибудь значительном измерении температуры, может сделать негодным очень тонкое само по себе измерение. Морские течения, ветер с его разрушительными действиями во время бури, распространение тепла в комнатном воздухе от натопленной печи, да и самая возможность спокойно сжигать дрова в пределах комнаты,—все это так или иначе связано с малыми изменениями объема воды и воздуха при переменах температуры.

Скажем здесь кое-что о мере расширения тел—о способах выражать изменения длины и объема в числах. При нагревании твердого тела мы можем наблюдать как увеличение его объема — объемное или кубическое расширение, так и увеличение его размеров в одном каком-либо направлении, например, в длину или ширину — расширение линейное. Чтобы сравнить между собою величину линейного расширения различных материалов, надо было бы взять стержни одинаковой длины и нагревать их на одно и то же число градусов. Но можно поступить и иначе, основываясь на следующем. Представим себе, чтобы не иметь дело с очень малыми числами—линейное расширение тел в сильно преувеличенном виде и положим, что, например, стержень в один метр при нагревании на каждый градус удли-

[1]) Расширением воздуха при нагревании, имея порядочные весы, можно очень просто обнаружить весомость воздуха. Колба, закупоренная после хорошего прогревания, становится легче. Если вполне охладившуюся колбу открыть, то в нее входит столько воздуха, сколько его вышло при нагревании, и вес колбы восстановляется. Этим приемом, на-ряду с другим, о котором мы упоминали в § 21, воспользовался Галилей.

няется на 1 сантиметр: удлинение составит тогда $^1/_{100}$ первоначальной длины стержня. Если возьмем стержень из того же материала в 2 метра длиною, то прибавка длины при нагревании его на 1° будет уже равняться 2 сантиметрам; но эта прибавка составит опять ту же долю первоначальной длины как прежде ($^2/_{200}$ или $^1/_{100}$). Трехметровый стержень удлинился бы на 3 сантиметра, т.-е. на $^3/_{300}$, или на ту же $^1/_{100}$ первоначальной длины. Взяв стержень *из другого материала*, мы получили бы другую дробь. Величина дроби не зависит, как видим, из случайно взятой нами длины стержня, а только от свойств его *материала*.

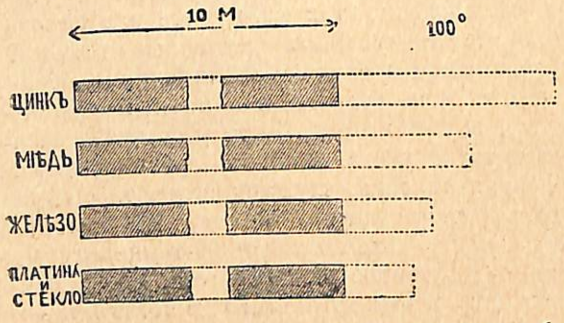


Рис. 170. Показывает, насколько удлинились бы стержни длиною в 10 метров при нагревании их от 0° до 100°.

На деле, измерив длину стержня, обыкновенно при 0°, т.-е. в тающем льде, определяют его удлинение при нагревании на некоторое число градусов, например, до 100° Ц., и расcчитывают, какую долю первоначальной длины составляет удлинение его на каждый градус. Предполагается, что удлинение стержня на каждый градус одинаково: это не совсем верно, но вообще очень близко к действительности.

Вот числа, показывающие относительные линейные расширения некоторых материалов на каждый градус термометра Ц.

Цинк	29	миллионных	или	0,000029
Медь (красная) . . .	17	»	»	0,000017
Железо	12	»	»	0,000012
Платина	9	»	»	0,000009

Линейное расширение обыкновенного *стекла* почти такое же, как платины, именно $8^1/_2$ миллионных. Рис. 170 наглядно показывает, насколько удлинились бы стержни из названных материалов длиною в 10 метров, при 0°, если их нагреть до 100° Ц. *Границы температур*, между которыми определяется расширение, конечно, выбирают сообразно свойствам тела. Можно, например, поставить вопрос о *расширении льда при нагревании*. Тогда 0° будет *высшей* его температурой;

за низшую или первоначальную берут температуру на то или иное число градусов ниже 0°. Оказывается, что линейное расширение льда значительно больше, чем всех названных выше тел, именно около 50 миллионных.

149. Числа нашей таблички позволяют находить помощью простого вычисления, насколько увеличится длина тела при том или ином повышении его температуры. Узнаем, например, насколько удлинится железный гвоздь (см. § 2), длина которого 4 д. при 20°Ц. (температура теплой комнаты 16°Р.), если его нагреть сверх этого на 500°, т.-е. до 520°Ц. (приблизительно температура начинающегося красного каления). Вместо 4 дюймов возьмем 100 *мм* (удобнее) и будем считать, что удлинение железного стержня *на каждый градус* составляет 12 миллионных его длины при 20°Ц. Прибавка 100 *мм* длины на 1°Ц. будет $100 \times 0{,}000012$ *мм*, а на 500 в 500 раз больше, т.-е. $100 \times 500 \times 0{,}000012 = 0{,}6$ *мм*. Так как в нашем опыте, при вкладывании, гвоздь, конечно, уже не был раскален докрасна, то удлинение его было не больше $^1/_2$ мм, т.-е. не превышало половины толщины обыкновенной головной шпильки.

Насколько удлинится цинковая водосточная труба, имеющая 20 *м* длины при температуре 25°Ц. *ниже* нуля (зимою), если температура ее повысится до + 25°Ц. летом, т.-е. в общем на 50°. Можно считать, что труба удлинится на столько же, как при повышении температуры от 0° до 50°. Прибавка длины *на каждый градус* Ц. составляет для цинка 29 миллионных длины при 0°. Следовательно, удлинение 20-метровой трубы на 1° равно $20 \times 0{,}000029$ *м*, а на 50°—в 50 раз больше, т.-е. $20 \times 50 \times 0{,}000029$ *м*, это составляет 2,9 *см* (около 1,2 дюйма).

Решите сами следующий вопрос в таком же роде. Положим, что рельсовый путь в 650 километров (приблизительно длина железнодорожного пути между Петроградом и Москвой) был бы составлен не из отдельных рельсов с промежутками, а был сплошным. Насколько он удлинился бы при повышении температуры от — 30°Ц. до + 40°Ц. Ответ: На $\frac{1}{2}$ километра с небольшим.

150. В случае жидкостей и газов мы, конечно, можем ставить вопрос лишь об их объемном расширении, потому что линейные размеры жидкой массы связаны с размерами той оболочки из твердого тела, в которую жидкость по необходимости должна быть заключена. По поводу расширения самой оболочки сосуда см. в § 140. Вот несколько числовых примеров.

Объем *воды* около температуры кипения увеличивается приблизительно на $^1/_{25}$ того, какой занимала очень холодная вода (ледяная или несколькими градусами выше нуля).

Ртуть при нагревании от 0° до 100°Ц. расширяется на $^1/_{55}$ первоначального объема.

Расширение керосина и безводного винного спирта при тех же условиях достигает $^1/_{10}$.

Воздух расширяется при нагревании от 0° до 100°Ц. (под обыкновенным атмосферным давлением, см. § 145) слишком на $^1/_3$ первоначального объема; его расширение больше, чем воды, в $8^1/_2$ раз, а сравнительно с расширением стеклянной оболочки, в которой воздух обыкновенно заключен при опытах, в 150 раз. Если воздух в колбочке прогреть на хорошем пламени спиртовой лампы, то можно достичь того, что объем его удвоится сравнительно с тем, какой был при комнатной температуре, так что в колбочке останется лишь половина бывшего в ней воздуха. Расширение других газов при обычных условиях почти такое же, как воздуха.

151. Из предыдущего ясно, что при сколько-нибудь точном определении размеров или объема необходимо обращать внимание на указываемую термометром температуру тела. Так, измерительные линейки (масштабы), назначаемые для точного измерения длины, выверяются при определенной температуре (обыкновенно в тающем льду, т.-е. при 0°) и при всякой другой температуре, строго говоря, имеют другую длину.

Мензурки и другие сосуды, служащие для измерения объема жидких тел, градуируются (делятся на равные объемы) при некоторой определенной температуре; эта температура обыкновенно надписывается на стенке сосуда. При всякой другой температуре его деления уже не отвечают обозначенным на нем объемам. Но в большинстве случаев погоня за точностью была бы совсем неуместна, и обыкновенно, пользуясь мензуркой, можно считать, что число отмеренных куб. сантиметров воды равно такому же числу граммов.

Особенно большое значение имеют перемены температуры при определении и объема и веса газов; но входить в подробности здесь было бы не к месту.

V. Течения в жидкостях и газах, связанные с изменением температуры.

152. Теплая вода, будучи легче холодной, вытесняется кверху (как меньший груз перевешивается на весах большим), всплывает в ней — так же и теплый воздух в холодном. Поэтому в воде и воздухе при неравномерном их нагревании могут произойти и поддерживаться перемещения — «тепловые течения».

Вода. Для обнаружения тепловых течений в воде и выяснения условий, при которых они происходят, служат опыты, рис. 171 и 172. В больших размерах течения происходят в океанах (образованию их содействуют и господствующие ветры); подобно воздушным течениям, они способствуют выравниванию резких различий тепла и холода в разных местностях земной поверхности.

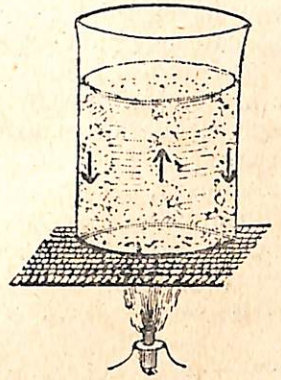


Рис. 171. К воде в стакане примешаны какой-либо легкий порошок или краска. Благодаря этому, при нагревании стакана на горелке отчетливо видны водяные токи, поднимающиеся над более нагретою частью и опускающиеся вдоль стенок.



Рис. 172. При нагревании верхней части пробирки вода в верхних слоях закипает, в то время как нижние слои остаются холодными. Здесь не образуется водяных потоков, имевших место в предыдущем опыте.

Воздух. Длинная узкая полоска папиросной бумаги, которую держат за конец над пламенем, вздымается кверху; легкие перышки или пушинки быстро взлетают. Если под чашку уравновешенных ручных аптекарских весов поднести пламя спиртовой лампы, то весы сильно перевешивают в другую сторону, благодаря поднимающемуся над пламенем току горячего воздуха. Жестяная вертушка с крыльями, повернутыми наподобие крыльев ветряной мельницы (рис. 173), быстро вертится под пламенем свечи. (Такие вертушки иногда ставятся под стеклами керосиновых ламп, чтобы рассеивать поднимающуюся от них к потолку копоть.) Для обнаружения токов нагретого воздуха хорошо служит еще бумажная

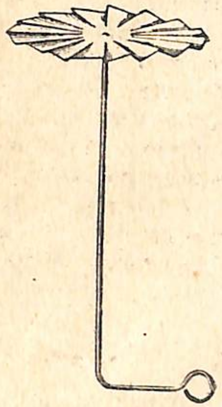


Рис. 173.

*

змейка (рис. 174) [1]). Ток теплого воздуха постоянно поднимается и под нашим телом. Круговорот воздуха вроде того, какой устанавливается в воде при неравномерном нагревании (рис. 171), хорошо наблюдается с помощью папиросного дыма по приему, о котором дает понятие рис. 175.

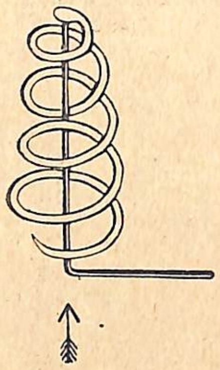


Рис. 174.

В комнате, части которой неодинаково теплы, воздух постоянно перемещается. Например, около натопленной печки он поднимается к потолку, вытесняемый более плотным воздухом, который притекает по низу от менее теплых частей комнаты (наружных стен, окон).

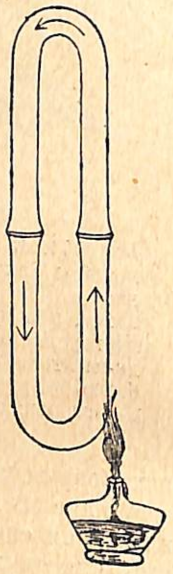


Рис. 175. Нижняя трубка наполняется дымом. При подогревании ее с одного боку создается циркуляция дыма.

Если подносить пламя свечи к щели между дверьми, отделяющими теплую комнату от холодной, то можно заметить, что у пола идет ток воздуха из холодной комнаты в теплую, а вверху—из теплой в холодную; в промежутки между этими токами найдется такое место, где пламя остается почти неподвижным (рис. 176). Если в натопленной комнате (или бане) стать достаточно высоко, то очень заметно, что сверху воздух теплее, чем внизу; это показал бы и подвешенный вверху термометр. Благодаря отчасти воздушным токам температура в каждом помещении на одной и той же высоте довольно скоро выравнивается (по крайней мере приблизительно), несмотря на то, что воздух сам по себе очень дурно проводит теплоту. Движение воздуха, называемое ветром, происходит именно вследствие неодинакового нагревания воздуха

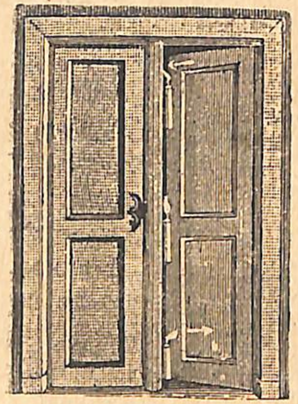


Рис. 176.

[1]) Раньше (§ 127) уже упоминалось, как можно на сильном свету сделать даже видимыми струи горячих газов.

в разных местах земной поверхности и тоже ведет к большему или меньшему выравниванию температуры. В малых размерах мы наблюдаем происхождение ветра, например, между двумя неодинаково нагретыми комнатами, как указано выше.

Неравномерным нагреванием воздуха обусловливается и так называемая «тяга» печей (рис. 177). В трубе, нагреваемой топкою, воздух становится относительно легче и вытесняется через печное отверстие вверх более тяжелым наружным воздухом. Отсюда—ветер, наблюдаемый нами у входа в печное отверстие. Следовательно, основное условие «тяги» то, чтобы температура воздуха в печной трубе была выше температуры воздуха вне печи. Если этого нет, то тяга может совсем отсутствовать и даже сделаться обратною (дым выбрасывается из печи в комнату), когда воздух в трубе холоднее внешнего. В последнем случае для восстановления тяги необходимо согреть воздух в печной трубе, что достигается сжиганием в ней соломы, стружек, и т. п. [1]). Увеличение высоты трубы — при прочих равных условиях — усиливает «тягу», потому что тогда увеличивается давление, вталкивающее воздух в печное отверстие. В самом деле, положим для примера, что столб горячего воздуха в трубе весит 2 *кг*, а точно таких же размеров столб наружного весит 3 *кг*: перевес составляет 1 *кг*. Если бы труба была вдвое выше, то вес (нагретого в той же степени) воздуха был бы в ней 4 *кг*, а такого же столба наружного воздуха 6 *кг*: перевес составил бы уже 2 *кг*, и воздух стал бы врываться в печное отверстие с большею

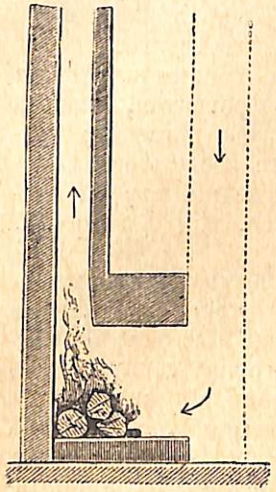


Рис. 177.

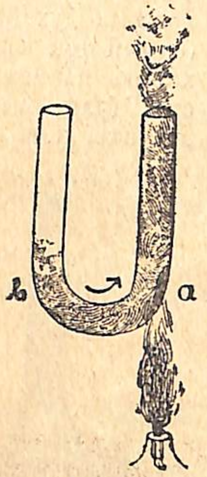


Рис. 178. В трубку напущен дым. Если нагревать то одну ветвь трубки, то другую, дым будет всякий раз перебрасываться в ту ветвь, в которой воздух более нагрет и где он, следовательно, легче.

[1]) Как известно, иногда (зимою) достаточно бывает открыть форточку, чтобы восстановить или усилить «тягу» в печи, в которой плохо разгораются дрова. Давая доступ в комнату холодному воздуху, мы именно достигаем того, что разность температур воздуха в печной трубе и вне ее увеличивается.

быстротою. Условия возникновения «тяги» (прямой и обратной) хорошо наблюдаются по приему, о котором дает понятие рис. 178.

«Тяга», совершенно сходная с печною, происходит при горении керосиновой лампы, стекло которой играет ту же роль, как печная труба, а сетка под горелкою соответствует печному отверстию или поддувалу. Если зажженный свечной огарок накроем ламповым стеклом (рис. 179), то горение будет продолжаться, пока воздух имеет выход чрез оставленную под стеклом щель (самый ток воздуха внутри стекла делается заметным по колыханию пламени). Но если поставить стекло краями плотно на стол (для опыта следует брать стекло с перехватом, как на рисунке, и не слишком широкое), то пламя скоро погаснет; приподняв стекло тотчас же после этого, заметим, что дым погасшей свечи быстро поднимается и выбрасывается, как из печной трубы.

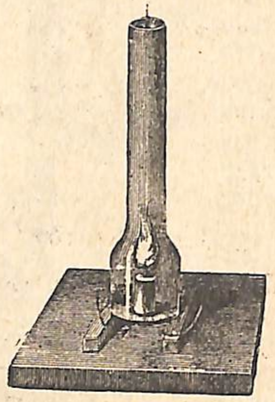


Рис. 179.

Проветривание или вентиляция помещений посредством топки печей и каминов основывается на постепенной замене комнатного воздуха, выгоняемого чрез печную трубу, наружным, который проникает внутрь чрез многочисленные скважины и щели в стенах здания (в гораздо большем количестве, чем принято думать, и во всяком случае в большем, чем чрез временно открываемые форточки) [1].

153. Вопросы: 1) В жестяные кружки налить воды: в одну — холодной, в другую — горячей, и поставить до половины первую — в горячую воду, а вторую — в холодную. В первой вода мало-по-малу нагреется почти равномерно, во второй — снизу остынет, вверху же долго останется теплой. На что указывает эта разница?

2) Если игрушечный воздушный шар, уравновешенный в воздухе (для чего к нити привязывают подходящий по весу кусок палки и т. п.), предоставить самому себе, то он начинает перемещаться, следуя невидимым течениям воздуха в комнате. Обратить внимание на направления, которые принимает шар. В каких местах натопленной комнаты шар идет вверх, в каких вниз? Что будет с ним в дверях между комнатами неодинаково теплыми?

3) В каких двух преобладающих направлениях должен перемещаться воздух на земной поверхности (на каждом из полу-

[1]) О проницаемости материала кирпичных стен для воздуха см. выше § 27.

шарий), если принять во внимание различие температуры полярных и экваториальных стран? (Нередко можно видеть, что облака на разных высотах движутся в противоположные стороны.)

4) В чем неправильность обычного выражения: «тяга» печи, камина? Действительно ли печная труба «тянет» в себя воздух? Как следовало бы сказать правильнее?

5) Обыкновенно думают, что простой (не электрический) вентилятор, установленный в отверстии печной трубы или окна, производит своим вращением тягу. Но почему же вертится вентилятор? Не есть ли его вращение только последствие уже существующего тока воздуха («тяги»)?

6) Почему керосиновая лампа, которую трудно погасить, если дуть снизу в сетку (поддувало), тотчас гаснет, как только дунешь, хотя бы слабо, сверху в отверстие стекла. Ответ: Пламя гаснет в собственных продуктах горения, так как движение газов вверх задерживается.

7) Если держать шарик термометра вблизи куска льду, над и под ним, то будет ли разница в быстроте охлаждения термометра? Какая и почему?

VI. О хороших и дурных проводниках теплоты.

154. Нагревая тело в одном месте, мы обыкновенно замечаем, что и соседние его части становятся теплее, — что теплота распространяется по телу от более нагретой части к менее нагретым. При этом легко подметить, что одни тела прогреваются скорее, другие медленнее. Если один конец короткой металлической проволоки внести в огонь, держа его за другой, то скоро и этот конец сделается горячим. Напротив, горящую спичку мы свободно держим в руке даже тогда, когда пламя почти достигло пальцев; размягчая в огне стеклянную трубку, мы можем, не обжигаясь, держать ее довольно близко от нагреваемого места. Поэтому металлы мы называем хорошими «проводниками» теплоты, а дерево, стекло и т. п.—худыми. И те, и другие представляют опять значительные разницы в быстроте нагревания, как видно, например, из опыта рис. 180 по отношению к металлам.

155. Распространение теплоты при нагревании жидкостей и газов усложняется тем, что их удобоподвижные частицы тотчас начинают перемещаться, как только температура в одном и том же горизонтальном слое сделается неодинаковою: происходят «тепловые течения», благодаря которым вся масса жидкости или газа довольно скоро прогревается. Чтобы судить о том, как проводят теплоту — хорошо или дурно —

жидкости и газы, надо нагревать их, не давая произойти течениям. Если в пробирке нагревать воду не снизу, как обыкновенно, а сверху (рис. 172), то не образуется водяных токов, благодаря которым жидкость перемешивается, и тогда вода оказывается *дурным проводником теплоты.*

При обыкновенных условиях мы знаем только одну металлическую жидкость — *ртуть,* и она, как металл, является сравнительно хорошим проводником теплоты; все же другие жидкие при обычных условиях тела относятся к дурным проводникам.

Воздух, нагреваемый с наблюдением указанной предосторожности (т.-е. при отсутствии течений), является очень дурным проводником теплоты, в особенности, если он сух. То же можно сказать вообще о газах.

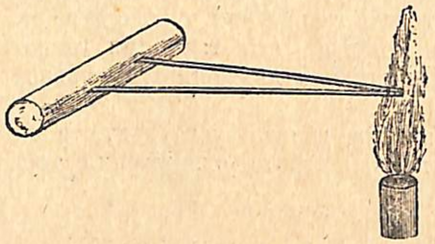


Рис. 180. В кусок восковой свечи воткнуты две проволоки — медная и железная, своими свободными концами сведенные вместе. При нагревании последних медная проволока прогревается и выпадает из воска гораздо скорее железной.

156. В повседневной жизни мы постоянно пользуемся худыми проводниками теплоты, как средством замедлять выравнивание температур. «Теплая» одежда, изготовляемая именно из дурных проводников теплоты (например, тканей из плохо проводящего материала, содержащего, кроме того, в своих скважинах много воздуха), защищает нас от внешнего холода тем, что замедляет отдачу нашего тепла наружу. Желая предохранить нагретый предмет от быстрого остывания, мы покрываем или обертываем его плохими проводниками теплоты: чайник с горячей водою долго остается горячим, если поместить его между двух подушек или завернуть в войлок. Лед, сохраняемый летом в погребах, окружают дурными проводниками (соломой, землею), замедляющими доступ теплоты снаружи. Когда мы берем в руки горячий предмет, мы для защиты от обжога помещаем между предметом и рукою тело, плохо проводящее теплоту. Малая теплопроводность воздуха находит применение в устройстве двойных рам и т. п. Различием в теплопроводности объясняется и то всем известное явление, что разные предметы в комнате кажутся неодинаково теплыми наощупь, хотя бы температура их была и одинакова (такова приблизительно температура предметов, находящихся в комнате по соседству один от другого). Именно металлические предметы, как хорошие проводники, быстрее отнимают теплоту от поверхности нашего тела (руки), чем дерево,

бумага, шерсть, а потому и «холодят» [1]). Напротив, если разные предметы будут нагреты выше температуры нашего тела, так что при соприкосновении с ними наша рука будет *получать* от них теплоту, то металлические покажутся теплее. (Хорошо известно, что о горячий металлический предмет скорее можно обжечься, чем, например, о деревянный, нагретый до той же самой температуры.)

VII. Обзор.

157. Источниками теплоты, кроме солнца и горения, являются также трение тел, удар, сжатие и многие другие.

От нагревания объем твердых и жидких тел, вообще говоря, увеличивается, а от охлаждения уменьшается; материал тела в первом случае становится менее плотным, во втором — более плотным. От нагревания и охлаждения твердые тела не только изменяются в размерах, но могут — в случае неравномерного нагревания — изменять и форму.

В твердых телах различают линейное и объемное расширение. Относительные линейные расширения (на 1° Ц.) выражаются в очень малых числах: для цинка 29 миллионных, для меди 17, железа 12 и стекла $8^1/_2$ миллионных. Относительные объемные расширения можно считать в три раза более линейных.

Жидкости вообще расширяются значительнее, чем твердые тела: содержащаяся в сосуде жидкость при нагревании расширяется, несмотря на увеличение объема сосуда; но последнее делает то, что кажущееся (видимое) расширение жидкости меньше действительного. Вода комнатной температуры при охлаждении сжимается, но лишь до 4° по термометру Цельсия; при более же сильном охлаждении, вплоть до 0°, расширяется.

Жидкости дают относительные объемные расширения больше по сравнению с твердыми телами: ртуть $^1/_{5500}$, керосин и винный спирт $^1/_{1000}$. Объем воды при температуре около 100° Ц. примерно на $^1/_{25}$ больше объема при температуре 0° Ц.

Давление газа в замкнутом со всех сторон пространстве усиливается при нагревании и ослабляется при охлаждении. Газ, нагреваемый в открытом сосуде, расширяется, преодолевая давление наружного (атмосферного) воздуха, а охлаждаемый сжимается, потому что пересиливает наружное давление. Таким образом, обычная фраза — всеми нами затверживаемая со школь-

[1]) Если *плотно охватить* рукою достаточно большой гладкий кусок железа или меди, имеющий комнатную температуру, то получается ощущение, не очень отличающееся от прикосновения к комку снега.

ного возраста — что «все тела при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются», применима и то с некоторыми исключениями (вода между 0° и 4°) лишь к твердым и жидким телам, но не газам. Расширению газа легко воспрепятствовать противодействием оболочки, а сжатие его при охлаждении производится внешним давлением, обыкновенно — атмосферным.

Для воздуха и почти также для всех газов относительное объемное расширение составляет слишком $^1/_{300}$, так что объем при нагревании от 0° до 100° Ц. (под обыкновенным атмосферным давлением) увеличивается слишком на $^1/_3$ первоначального объема.

В воде и воздухе (в жидкостях и газах) от неравномерного нагревания происходят перемещения, течения, так как более нагретые и, следовательно, более легкие части вытесняются вверх более холодными, более тяжелыми. «Тяга» печей происходит от разницы температур воздуха в комнате и в трубе: смотря по тому, которая выше, тяга бывает прямая (правильная) или обратная.

Металлы лучше проводят теплоту, чем дерево, бумага и т. п. не металлические тела. В практической жизни дурными проводниками теплоты постоянно пользуются, чтобы замедлять нагревание и охлаждение предметов — замедлять выравнивание температуры.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ.

Вода, лед, пар.

I. Таяние и замерзание.

158. Одно и то же тело мы часто знаем и в твердом и в жидком виде. Иногда оно является нам и в твердом, и в жидком, и в воздухообразном, как, например, вода. Обыкновенно тела переходят из одного состояния в другое вследствие нагревания или охлаждения. Переход твердого тела в жидкое в таких случаях называется *плавлением* (таяние льда, воска, плавление олова, железа и др.), а в газообразное — *испарением*.

Называя железо твердым телом, ртуть жидкостью, а воздух газом, мы имеем в виду *обычное* состояние каждого из этих тел. Но уже один пример воды, являющейся нам в разных состояниях в зависимости от той или иной степени нагретости, показывает, как условны могут быть подобные названия, и какое важное значение имеет здесь степень нагретости тела, его температура.

Превращение воды в пар и лед — самый обыкновенный и самый важный для нас пример. Стоит лишь сравнить картину нашей северной природы в разные времена года, чтобы видеть, какие значительные перемены производятся в ней изменением температуры на несколько градусов по нашему термометру. И эти перемены зависят, главным образом, от того, что выше некоторой определенной степени тепла вода — подвижная жидкость, а ниже — твердое камнеподобное тело.

Познакомимся ближе с различными состояниями воды и переходом их из одного в другое. Погрузим обыкновенный комнатный термометр в кружку с чистым снегом, только что принесенным с мороза. Ртуть быстро опустится ниже черты, обозначенной нулем, а потом *очень медленно* начнет повышаться. Что это значит? Конечно, то, что мерзлый снег, помещенный в теплую комнату, как всякое другое холодное тело, становится менее холодным, иными словами — становится теплее, нагревается. Но в снегу, уже начавшем таять (мокром), ртуть будет стоять на месте до тех пор, пока снег не растает, не превратится в жидкую воду. Если ускорить таяние снега, подставив под кружку пламя лампы, то ртуть, после тщательного размешивания содержимого кружки, снова остановится неподвижно — на той самой точке, как раньше. И только после того как весь снег растает, ртуть медленно начнет повышаться, пока, наконец, спустя достаточно долгое время (несколько часов), не дойдет до точки, на которой стояла в комнатной воде.

Вывод, который мы отсюда сделаем, тот, что *температура чистого воздуха тающего снега постоянна*. Снег, долго лежавший на морозе, столь же холоден, как и окружающий его воздух; такой снег можно сделать теплее, нагреть, но не выше той температуры, при которой он тает, т.-е. делается жидкой водой. Это, конечно, относится и ко льду: ведь снег состоит из ледяных кристалликов.

Температура, выше которой вода — жидкость, а ниже — твердое тело, называется двояко. Говоря о льде, ее называют *точкой таяния* (льда), а подразумевая воду, говорят: *точка замерзания* (воды). Эту пограничную температуру, отделяющую твердое состояние воды от жидкого, условились обозначать нулем. Чистая вода замерзает именно при этой температуре, а не ниже 0°, как нередко думают. Что же касается нулевой черты обыкновенных термометров, то она не заслуживает большого доверия: она более или менее расходится с действительным нулем температуры (о чем ниже).

Мы привыкли к тому, что снег и лед не бывают теплыми в обычном смысле, т.-е. наощупь, и поэтому самые слова: на-

ного возраста — что «все тела при нагревании расширяются, а при охлаждении сжимаются», применима и то с некоторыми исключениями (вода между 0° и 4°) лишь к твердым и жидким телам, но не газам. Расширению газа легко воспрепятствовать противодействием оболочки, а сжатие его при охлаждении производится внешним давлением, обыкновенно — атмосферным.

Для воздуха и почти также для всех газов относительное объемное расширение составляет слишком $^1/_{300}$, так что объем при нагревании от 0° до 100° Ц. (под обыкновенным атмосферным давлением) увеличивается слишком на $^1/_3$ первоначального объема.

В воде и воздухе (в жидкостях и газах) от неравномерного нагревания происходят перемещения, течения, так как более нагретые и, следовательно, более легкие части вытесняются вверх более холодными, более тяжелыми. «Тяга» печей происходит от разницы температур воздуха в комнате и в трубе: смотря по тому, которая выше, тяга бывает прямая (правильная) или обратная.

Металлы лучше проводят теплоту, чем дерево, бумага и т. п. не металлические тела. В практической жизни дурными проводниками теплоты постоянно пользуются, чтобы замедлять нагревание и охлаждение предметов — замедлять выравнивание температуры.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ.

Вода, лед, пар.

I. Таяние и замерзание.

158. Одно и то же тело мы часто знаем и в твердом и в жидком виде. Иногда оно является нам и в твердом, и в жидком, и в воздухообразном, как, например, вода. Обыкновенно тела переходят из одного состояния в другое вследствие нагревания или охлаждения. Переход твердого тела в жидкое в таких случаях называется плавлением (таяние льда, воска, плавление олова, железа и др.), а в газообразное — испарением.

Называя железо твердым телом, ртуть жидкостью, а воздух газом, мы имеем в виду обычное состояние каждого из этих тел. Но уже один пример воды, являющейся нам в разных состояниях в зависимости от той или иной степени нагретости, показывает, как условны могут быть подобные названия, и какое важное значение имеет здесь степень нагретости тела, его температура.

Превращение воды в пар и лед — самый обыкновенный и самый важный для нас пример. Стоит лишь сравнить картину нашей северной природы в разные времена года, чтобы видеть, какие значительные перемены производятся в ней изменением температуры на несколько градусов по нашему термометру. И эти перемены зависят, главным образом, от того, что выше некоторой определенной степени тепла вода — подвижная жидкость, а ниже — твердое камнеподобное тело.

Познакомимся ближе с различными состояниями воды и переходом их из одного в другое. Погрузим обыкновенный комнатный термометр в кружку с чистым снегом, только что принесенным с мороза. Ртуть быстро опустится ниже черты, обозначенной нулем, а потом очень медленно начнет повышаться. Что это значит? Конечно, то, что мерзлый снег, помещенный в теплую комнату, как всякое другое холодное тело, становится менее холодным, иными словами — становится теплее, нагревается. Но в снегу, уже начавшем таять (мокром), ртуть будет стоять на месте до тех пор, пока снег не растает, не превратится в жидкую воду. Если ускорить таяние снега, подставив под кружку пламя лампы, то ртуть, после тщательного размешивания содержимого кружки, снова остановится неподвижно — на той самой точке, как раньше. И только после того как весь снег растает, ртуть медленно начнет повышаться, пока, наконец, спустя достаточно долгое время (несколько часов), не дойдет до точки, на которой стояла в комнатной воде.

Вывод, который мы отсюда сделаем, тот, что температура чистого воздуха тающего снега постоянна. Снег, долго лежавший на морозе, столь же холоден, как и окружающий его воздух; такой снег можно сделать теплее, нагреть, но не выше той температуры, при которой он тает, т.-е. делается жидкой водой. Это, конечно, относится и ко льду: ведь снег состоит из ледяных кристалликов.

Температура, выше которой вода — жидкость, а ниже — твердое тело, называется двояко. Говоря о льде, ее называют точкой таяния (льда), а подразумевая воду, говорят: точка замерзания (воды). Эту пограничную температуру, отделяющую твердое состояние воды от жидкого, условились обозначать нулем. Чистая вода замерзает именно при этой температуре, а не ниже 0°, как нередко думают. Что же касается нулевой черты обыкновенных термометров, то она не заслуживает большого доверия: она более или менее расходится с действительным нулем температуры (о чем ниже).

Мы привыкли к тому, что снег и лед не бывают теплыми в обычном смысле, т.-е. наощупь, и поэтому самые слова: на-

гревание снега или льда могут, пожалуй, показаться нам странными. Но почему бы снегу не быть холоднее в очень морозный день, чем в менее морозный, другими словами — теплее в последнем случае, чем в первом? Не то же ли самое мы сказали бы про какой-нибудь лежащий тут же камень или кусок олова? Снег (лед) может иметь весьма различную температуру, но только не выше той, при которой он уже перестает быть льдом, потому что переходит в состояние жидкой воды. Ведь и кусок олова нам не удалось бы нагреть выше той температуры, при которой самый кусок перестает существовать, потому что олово становится жидким, плавится.

159. Некоторыми примесями можно понизить температуру таяния льда. Стоит лишь прибавить к нему обыкновенной соли, как это делается, например, при приготовлении мороженого. Если к талому снегу прибавить по весу соли и хорошенько размешать, то ртуть нашего термометра опустится в смеси градусов на 15 ниже нуля, во всяком случае десяток градусов мороза легко будет получить. Поставим нашу холодную кастрюльку, смочив дно водой, на дощечку—она скоро крепко примерзнет.

Температура таяния от прибавки соли понизится, но растворенная в воде соль понижает и температуру замерзания. Если попробуем заморозить в нашей холодильной смеси (снега с солью) насыщенный соляный раствор, то нам это не удастся: немного соли может выделиться, осесть на дно, но остальной раствор останется жидким.

Обратим попутно внимание на то, что сосуд с холодной смесью покрывается снаружи все утолщающимся слоем инея; это перешедший в твердое состояние (замерзший) водяной пар, который взялся, конечно, от окружающего воздуха.

160. Заморозим с помощью нашей холодильной смеси воду, налитую в склянку до начала горла: лед займет больший объем, чем вода, — ледяной пенек просунется в горлышко. Если вместо склянки взять узенькую трубочку (пробирку), налить в нее воды на 10 *см* от дна (уровень отметить обвязанной вокруг ниткой) и заморозить, то ледяной столбик выставится примерно на 1 *см* выше метки. Общеизвестно, что плотно закупоренная бутылка с квасом и т. п. на морозе нередко лопается под напором образующегося льда.

161. Вот выводы из предыдущего, подтверждаемые и более точными опытами:

1. Температура перехода чистого льда в воду (точка таяния) и чистой воды в лед (точка замерзания) постоянна — независимо от того, совершается ли переход медленно или быстро.

2. Если ко льду или к воде прибавлено что-либо растворимое в воде, то температура таяния и замерзания понижается. Морская вода (вода океанов), содержащая около $3\frac{1}{2}$ % растворенных веществ, замерзает несколько ниже нуля. (Нерастворимые примеси не изменяют температуры перехода льда в воду или обратно.)

3. Замерзая, вода увеличивается в объеме — приблизительно на $^1/_{10}$. (Более точно — из 11 объемов воды образуется 12 объемов льда—рис. 181.) Лед легче воды и на ней плавает.

Увеличиваясь в объеме при замерзании, вода может разорвать не только бутылку, но и толстостенную чугунную бомбу. Так, замерзая зимою в трещинах скал, вода способствует их неизбежному разрушению.

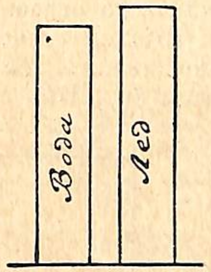


Рис. 181. Сравнительные объемы воды и образующегося из нее льда.

Вопросы: 1) В чем сходство между плавлением и растворением твердого тела? В чем явное различие? Очень обычное слово «таяние» всегда ли употребляется нами в одном и том же смысле? (Говорят: тает воск от тепла, сахар тает в воде.)

2) Испытайте вашим термометром температуру снега, наполнявшего ведро и оставшегося несколько часов в комнате: будет ли показание одинаково с тем, какое давал термометр в тающем снегу? Какая температура должна установиться в снегу после достаточно продолжительного стояния?

3) Какова должна быть температура льда в погребе среди лета? А если на некоторые части его случайно попала соль? Будет ли здесь температура неизменно оставаться ниже 0°?

4) Откуда выражение: «трескучий мороз»? Чем объяснить себе треск, который при сильном морозе слышится в лесу?

II. Испарение и кипение. Переход водяного пара в жидкое и твердое состояние.

162. Когда жидкая вода становится газообразной, то говорят вообще, что она испаряется. Кипением же мы называем более или менее быстрое испарение воды, отличающееся от испарения при более низких температурах тем, что пары при кипении образуются не только с поверхности, но и внутри жидкости; они выделяются из нее крупными пузырями, вследствие чего вода бурлит и волнуется.

Сделаем несколько наблюдений над тем, что происходит при нагревании и кипении воды, пользуясь колбой со вставленной в нее двухколенной трубкой, как показывает рис. 182. Наполним колбу до самой пробки — не оставив воздуха — свежей водою, взятой прямо из водопровода или колодца. Из воды, при нагревании, почти тотчас же начинают выделяться пузырьки *растворенного в ней воздуха* (те самые, которые в изобилии облепляют изнутри стенки стакана с холодной водой по мере того как вода становится теплее); воздух собирается в горле колбы, а вода вытесняется чрез коленчатую трубку. Нагрев воду почти до кипения, мы получим над ней довольно значительный объем воздуха. При закипании воды из нее уже выделяется большая

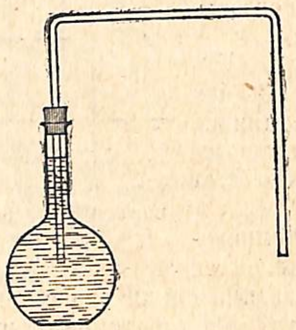


Рис. 182.

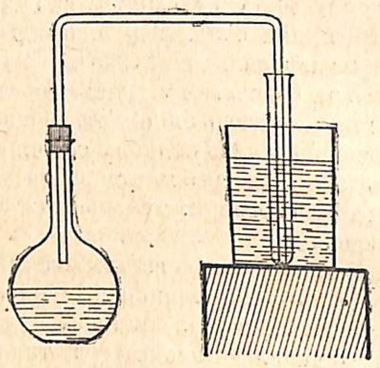


Рис. 183.

часть содержавшегося в ней воздуха; но, чтобы удалить весь, нужно кипятить воду довольно долго. Присутствие воздуха в воде необходимо, чтобы она была годна и приятна для питья: известно, какой неприятный вкус имеет свеже-прокипяченная вода, в которую еще не успел проникнуть воздух.

Продлим нагревание колбы, чтобы вода вскипела: она будет выброшена в подставленный сосуд. Это ясно указывает на то, что пар кипящей воды *давит* изнутри на воду, и притом сильнее, чем наружный (атмосферный) воздух, давление которого ему приходится преодолеть.

Передвинем трубку в пробке немного выше, чтобы дать свободный выход пару (рис. 183) и будем кипятить воду: пар будет облачными клубами выбрасываться из трубки. Обратим внимание, что в то же время пар, наполняющий собою колбу, остается *невидимым*: здесь еще нет условий для сгущения его в жидкие капельки. Опустим свободный конец трубки до дна пробирки, а последнюю погрузим в стакан с водою. Теперь при

кипячении воды пары будут сжижаться в пробирке, и мы получим в ней немного *перегнанной* или *дистиллированной* воды. Если в колбу всыпать щепотку соли, то вся соль останется в ней (если только при сильном кипении не будет частью переброшена в пробирку вместе с жидкой водой). При кипении воды растворенные в ней обыкновенно твердые тела не переходят в пар и остаются в том сосуде, в котором кипятят воду. Перегнанная вода имеет неприятный (приторный) вкус и для питания не только не годится, но прямо вредна. Употребляемая нами для питания чистая вода содержит немало посторонних веществ; присутствие некоторых из них, в известных границах, *необходимо* для того, чтобы вода могла считаться хорошею.

Продолжая кипячение, опустим свободный конец трубки в стакан с комнатной водой, а потом отнимем пламя: скоро вода начнет подниматься в трубке и проникнет в колбу, после чего будет с силой переброшена в нее из стакана.

Если припомним то, что мы узнали об атмосферном давлении, то, конечно, заключим, что оно именно и вогнало воду в колбу. Следовательно, давление горячего водяного пара при его охлаждении должно было *уменьшиться* и притом, судя по происшедшему, очень значительно. Следующий интересный опыт обнаруживает это еще нагляднее. В жестянку из-под керосина и т. п. (без носка) наливают немного воды, хорошенько кипятят (минуту или две на сильном огне), чтобы выгнать из жестянки по возможности весь воздух, потом быстро закупоривают заранее хорошо пригнанной пробкой и обливают холодной водой: жестянка *с треском сплющивается* перевесом атмосферного давления.

163. *Вопросы.* Брызните водою на раскаленную чугунную плиту: капли принимают такую же форму, как на промасленной бумаге (рис. 35), следовательно — не прилипают (не пристают) к поверхности, при чем быстро бегают по плите. Что мешает им соприкоснуться с поверхностью плиты и перебрасывает их с места на место? (Очень крупные капли охлаждают плиту под собою, давление пара уменьшается и перестает поддерживать каплю; коснувшись горячего чугуна, капля быстро вскипает.)

164. Кипение отличается от обыкновенного поверхностного испарения еще следующей важной особенностью. *Кипящая вода одинаково горяча*, происходит ли кипение на слабом или очень сильном огне: в последнем случае вода лишь выкипает быстрее. При обычных условиях *воду нельзя сделать еще горячее*, как бы мы ни усиливали жар, — точно так, как нельзя нагреть лед выше той температуры, при которой он плавится. Из повседневной жизни всякий более или

менее знаком с этим обстоятельством. В самом деле, если бы мы не были уверены в том, что кипящая вода одинаково горяча (по крайней мере, приблизительно) в разное время и на разном огне, то мы встретили бы большое затруднение при варке мяса, овощей и пр., требующей именно определенной степени тепла. Точными опытами доказано, что температуру кипящей воды нельзя ни повысить, усиливая огонь, ни понизить, ослабляя его. Но, вместе с тем, ими обнаружено, что температура кипения воды не всегда и не везде одинакова; наблюдаются разницы (обычно небольшие), которые зависят от изменения атмосферного давления.

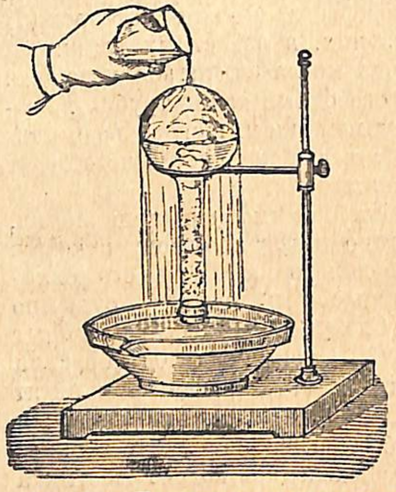


Рис. 184. Кипение воды под уменьшенным давлением ее паров.

Если кипятить воду в колбе и искусственно уменьшать в ней давление, удаляя из нее воздух (воздушным насосом), то температура кипящей воды будет все понижаться. Напротив, если усилить давление, например, затруднив выход пара, то температура кипения будет становиться все выше.

Очень просто сделать интересный опыт без всякого воздушного насоса—уменьшая давление на воду иначе. Мы видели выше, что если дать горячему пару охлаждаться и сгущаться в воду, то можно сильно уменьшить его давление в сосуде. Прокипятим хорошенько воду в колбе, чтобы выгнать из нее по возможности весь воздух, быстро и плотно закупорим, поместим на кольцо штатива дном вверх и охладим пары, поливая колбу водою (рис. 184). Вода в колбе сильно вскипает. При тщательном опыте можно достичь того, что вода, даже охладившись почти до комнатной температуры, будет вскипать при обливании колбы ледяной водой [1]).

165. Итак, если бы исчез с земли воздух, то повсеместно совершающееся медленное испарение воды превратилось бы

[1]) Если вода была перед закупориванием хорошо прокипячена, а колба заткнута своевременно и плотно, то можно по охлаждении колбы — когда обливание очень холодной водой уже не производит вскипания — наблюдать следующее интересное явление: при встряхивании колбы удары воды о пробку и воды об воду происходят с замечательно резким — металлическим звуком вследствие того, что в колбе почти нет воздуха, присутствие которого смягчало бы удар подобно пружине. (Этот резкий звук временами слышит я уже при обливании колбы холодной водой—когда именно вода в ней начинает подпрыгивать при кипении — и подает повод думать, что колба треснула.)

в бурное кипение. Более того: в пустоте **лед прямо превращается в пар** без перехода в промежуточное состояние жидкой воды. Таким образом вода на земле является в виде жидкости — в открытом помещении — только благодаря атмосферному давлению...

Лед медленно испаряется на морозе и в воздухе. Наблюдая изо дня в день за слоем льда в таком месте, где он не образуется заново, можно заметить, что ледяной покров становится все тоньше и, наконец, исчезает (постепенное исчезновение льда с панелей, сушка белья на морозе). В местностях с суровой зимой при ясном небе, например в Сибири, очень обычно наблюдается массовое исчезновение снега вследствие испарения.

Обратно, водяные пары могут при достаточно низкой температуре прямо переходить в твердое состояние. Таково происхождение снега и инея.

III. Водяные пары в воздухе. Атмосферные осадки.

166. Количество водяных паров в воздухе очень изменчиво; это знает каждый. Но обиходные суждения о сухом и сыром воздухе довольно сбивчивы. Обыкновенно думают, что в сухом воздухе паров мало, а в сыром — много. При этом забывают о температуре. В действительности холодный воздух уже при малом количестве паров может производить ощущение сырости, тогда как горячий и при большом содержании паров может быть сухим. Дело в том, что всякое (закрытое) помещение может принять в себя при данной температуре не больше некоторого определенного количества паров— совершенно так, как некоторое количество жидкости при данной температуре может растворить не более определенного количества твердого тела. Чем выше температура, тем больше паров нужно для насыщения ими данного пространства, и наоборот. — Если насыщенное парами пространство хотя сколько-нибудь охладить, то часть паров выделится в жидком состоянии; пространство будет содержать уже меньше паров, но останется насыщенным, потому что в нем как раз столько паров, сколько может содержаться при той более низкой температуре, до которой оно охлаждено.

Если температура в разных частях замкнутого пространства неодинакова, то может случиться, что в некоторых частях пары достигнут состояния насыщения и начнут сжижаться, в других — нет. Это не редкость в жилых комнатах. На наружной стене, остывшей в морозы, из комнатного воздуха осаждается вода, и обои отсыревают. Отсырение усиливается, если около стены стоит шкап и т. п. вещь, близость которой затрудняет перемешивание воздуха, прикасающегося к стене, с остальным. Иногда (если осаждение влаги не слишком велико) достаточно бывает освободить стену от загораживающей ее мебели, чтобы обои мало-по-малу просохли. Отсырению много способствует дыхание живущих в комнате или подолгу остающихся в ней людей, потому что через это увеличивается количество паров в воздухе. Отчего также холодные окна обыкновенно запотевают вскоре после того, как в комнату внесен кипящий самовар, тогда как вообще в комнате не ощущается какого-либо появления сырости?

Обыкновенно воздух не бывает насыщен парами. Но чем ближе он к насыщенному состоянию, тем более замедляется испарение в нем воды — пролитой, пропитывающей сырое белье или отдаваемой поверхностью нашего тела — и тем больше воды впитывают в себя скважистые тела, вроде бумаги, тканей и пр. Такой воздух и является более или менее сырым. И наоборот. Говоря определеннее, степень влажности воздуха зависит от количества содержащихся в нем паров сравнительно с тем, какое могло бы насытить его при той же самой температуре. Так, помещение в 160 куб. метров (объем комнаты, взятой для примера в § 11) могло бы принять в себя, будучи насыщено, при 15° приблизительно 2 килограмма, а при 30° около 5 килограммов парообразной воды (последнее количество составляет $^2/_5$ ведра). Если оно при 15° в действительности содержит 1 *кг* водяного пара, а при 18°—$2^1/_2$ *кг*, то мы сочтем воздух в отношении влажности или сухости одинаковым. В том и другом случае он содержал бы п о л о в и н у того количества паров, которое нужно, чтобы насытить его при существующей температуре, или, как принято говорить, его о т н о с и т е л ь н а я в л а ж н о с т ь была бы $^1/_2$. Относительная влажность комнатного воздуха, при которой он считается здоровым для жизни, около половины или немного больше. При относительной влажности 0,4 (т.-е. при $^2/_5$ того количества паров, какое могло бы содержаться при насыщении) воздух уж избыточно сух, а при 0,8 и более становится сырым [1].

[1]) На практике, чтобы избежать дробей, относительную влажность выражают в *процентах*, обозначая числом 100 то наибольшее количество паров, которое содержалось бы в нем при данной температуре, если бы он был насыщен. Следовательно. вместо $^1/_2$ пишут 50%, вместо 0,4—40%, вместо 0,8—80%.

Количество парообразной воды в воздухе в холодный осенний день может быть меньше, чем в жаркий летний, и, однако, про воздух в первом случае мы скажем, что он влажнее, сырее, чем во втором.

167. При охлаждении насыщенного парами воздуха вода выделяется в жидком или твердом виде, — смотря по тому, какова температура воздуха: выше или ниже 0°. В первом случае образуются туман или роса, во втором — снег или иней. Появление т у м а н а — признак того, что насыщенный парами или близкий к насыщению воздух охладился настолько, что уже не может удерживать всей воды в парообразном состоянии. Всякий знает, что в летнее время туман появляется вечером, а особенно густ бывает ранним утром, пред восходом солнца, когда именно воздух имеет самую низкую температуру. По мере нагревания почвы и воздуха туман «рассеивается»: это значит, что составляющие его водяные капельки превращаются в невидимый пар.

Р о с а осаждается на предметах, охладившихся до той температуры, при которой соприкасающийся с ними воздух становится насыщенным. В ясный (безоблачный) летний вечер почва охлаждается особенно сильно, и трава покрывается обильною росою.

О б л а к о есть тот же туман, но образовавшийся на некоторой высоте над землею, так что мы видим его снизу. Лежа на траве в хороший летний день и всматриваясь в небесную глубь, часто можно наблюдать, как на совершенно ясном синем фоне зарождается и вырастает облако. Столь же часто можно видеть и обратное: как облако мало-по-малу исчезает («тает») на наших глазах. Первое связано с охлаждением воздушных слоев, второе — с их нагреванием. Облака не непременно «приносятся» или «разгоняются» ветром, как обыкновенно думают, а возникают и исчезают в тех воздушных слоях, где воздух охлаждается ниже «точки насыщения» или нагревается выше нее. Когда мельчайшие капельки воды, составлявшие облако, сливаются в более крупные капли, они падают в виде д о ж д я. В очень сырую погоду мелкий дождь образуется («моросит») и из этого тумана, который со всех сторон окутывает предметы.

С н е г образуется чрез замерзание водяного пара без предварительного перехода его в жидкую воду; это — явление обратное тому испарению льда на морозе, о котором уже упоминалось в § 66 (см. там же об условиях образования снежинок в воздухе).

И н е й есть тот же снег, но только не упавший готовым из воздуха, а образовавшийся на почве, вследствие охлаждения его до 0° и ниже. Неправильно было бы называть (как иногда говорят) иней «замерзшей росою»: если бы замерзали образовавшиеся сперва жидкие капли, то они, конечно, имели бы другой

*

вид, чем иней. Наблюдения показали, что образованию тумана очень способствуют носящиеся в воздухе посторонние частички (мелкая пыль, угольная копоть и т. п.). Поэтому туманы бывают особенно густы и длительны в больших городах; ими, например, славится Лондон, первый по населению город в свете. Напротив, при отсутствии таких частичек выделение жидкой воды из воздуха может произойти и без промежуточного образования тумана.

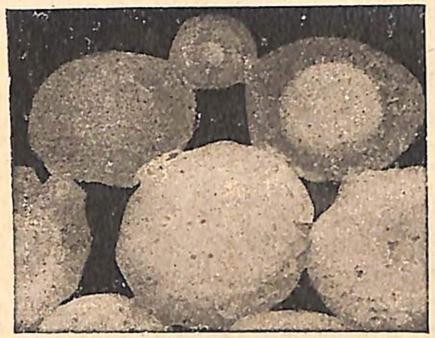


Рис. 185. Крупные градины (в $^1/_2$ натуральной величины).

Выпадение **града** есть следствие замерзания капель жидкой воды в воздухе. Но образование градин — довольно сложное явление, и его не приходится здесь ближе рассматривать. Полагают, что в известных случаях градины, в особенности исключительно крупные, падают даже не из земной атмосферы, а из небесного пространства. Рис. 185 представляет собой фотографический снимок крупного града, в $^1/_2$ натуральной величины, выпавшего в 1893 году в одной из местностей Англии. Рис. 186 представляет в настоящую величину копию с отверстия, пробитого градиной в окне верхнего света в одном из ленинградских домов в мае 1885 г.[1]). По величине отверстия можно судить о размерах градины (большинство же градин было с грецкий орех).

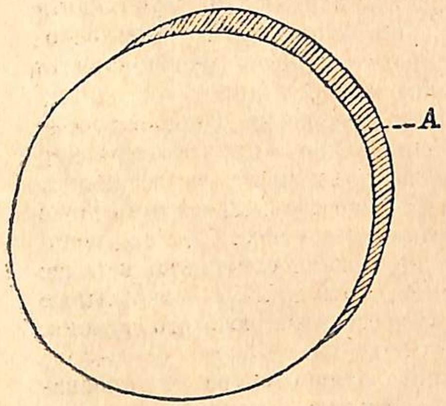


Рис. 186. Копия с отверстия, пробитого градиной в окне.

Дождь, снег, град, роса, иней и пр. — называются общим именем **атмосферных осадков**; происхождение и

[1]) Края отверстия с той стороны стекла, которая была обращена наружу, гладкие, нережущие, точно плавленые; с другой же стороны — острые. По заштрихованному краю *A* часть стекла слегка матовая.

особенности каждого из них изучаются в той же части физики, метеорологии, одна из задач которой — предсказание погоды по барометрическим наблюдениям.

IV. Обзор.

168. Температура перехода чистого льда в воду (точка таяния) и чистой воды в лед (точка замерзания) постоянна, независимо от того, совершается ли переход медленно или быстро. Если ко льду или к воде прибавлено что-либо растворимое в воде, то температура таяния и замерзания понижается; нерастворимые примеси не изменяют температуры перехода льда в воду или обратно.

Замерзая, вода увеличивается в объеме — приблизительно на $^1/_{10}$. Расширение воды при замерзании воды может производить очень сильные действия на преграды, мешающие расширению. Вода испаряется при всяких степенях тепла — тем быстрее, чем выше температура; медленно испаряются и очень холодная вода, и даже лед. Кипение есть испарение воды в ее массе, а не только с ее поверхности. Температура кипения изменяется с изменением внешнего (атмосферного) явления, но при всяком данном давлении она постоянна. При достаточном уменьшении давления вода может кипеть, не будучи горячей: при комнатной и даже при еще более низкой температуре.

Водяной пар есть парообразное состояние воды и сам по себе невидим (отличие пара от тумана или облака, состоящего из мелких частичек жидкой воды). Пар давит на стенки сосуда тем сильнее, чем выше температура; охлажденный до комнатной температуры пар давит во много раз слабее атмосферного воздуха.

«Относительную влажность» воздуха выражают долями того количества водяного пара, какое содержалось бы в нем, если бы он при данной температуре был насыщен парами; обыкновенно выражают влажность в процентах, т.-е. принимают содержание паров при насыщении за 100. При относительной влажности в 80% (0,8 или $^4/_5$ того, что могло бы содержаться при насыщении) воздух является уже «сырым», а при 40% и ниже — избыточно «сухим».

При охлаждении насыщенного парами воздуха вода выделяется в жидком или твердом виде, — смотря по тому, какова температура воздуха: выше или ниже 0°. В первом случае образуется туман (облако) и роса, во втором — снег или иней.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ.

Температура и термометр. Переход тел из одного состояния в другое.

I. Ртутный термометр. Тепло и холод.

169. Обыкновенный ртутный термометр состоит из тонкой стеклянной трубочки с расширением (резервуаром или «шариком») на конце, наполненным ртутью, которая занимает и часть трубки. Трубка с другого конца запаяна и не содержит воздуха. К термометрической трубке присоединена «шкала», на которой нанесены разные деления, называемые градусами термометра (°). Остановимся на способе, каким шкала ртутного термометра разделяется на градусы.

Если бы деления были сделаны произвольно, то приборы с резервуарами разной величины или трубками разной ширины давали бы совершенно различные показания. На шкале отмечают прежде всего две точки, соответствующие двум постоянным температурам, а потом уже делят промежуток на условленное число градусов. Эти *основные точки* термометрической шкалы даются постоянными температурами *таяния льда* и *кипения воды*. (Речь идет сперва не о тех упрощенных термометрах, какие употребляются в житейском обиходе.)

Температура, при которой тает чистый снег или лед, отмечается *нулем*, а температура чистой воды, кипящей под таким давлением воздуха, при котором барометр показывает 760 *мм* («1 атмосфера», см. § 91), числом 80 или 100. Промежуток между точками таяния и кипения делится на 80 или 100 равных частей, которые обыкновенно откладываются и ниже нуля. Восьмидесятиградусный термометр, или термометр Реомюра (сокращенно Р.), есть тот, которым мы отсчитываем температуру в повседневной жизни, а стоградусный, или термометр Цельсия (Ц.), принят в научных исследованиях, во врачебной практике (так называемые медицинские или врачебные термометры) и некоторых других случаях.

Итак, *градус* термометрической шкалы есть восьмидесятая (Р.) или сотая (Ц.) часть промежутка между точками таяния и кипения. *Восемьдесят градусов термометра Реомюра соответствуют ста градусам термометра Цельсия.* Когда термометр Р. показывает 4°, термометр Ц. покажет 5°; когда температура по первому 8°, по второму

она 10°, и т. д. Словом, 4° Р. равнозначны 5° Ц., что короче пишут так:

$$4^\circ \text{ Р.} = 5^\circ \text{ Ц.}$$

и отсюда
$$\begin{cases} 1^\circ \text{ Р.} = \tfrac{5}{4}{}^\circ \text{ Ц.} \\ 1^\circ \text{ Ц.} = \tfrac{4}{5}{}^\circ \text{ Р.} \end{cases}$$

Это простое отношение служит для перевода показаний одного термометра на показания другого. На рис. 187 изображено соотношение шкал обоих термометров. (Они обозначены латинскими буквами: C. — Цельсий, R. — Реомюр.)

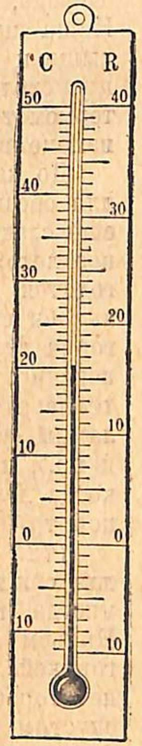


Рис. 187.

170. На шкале наших обыкновенных термометров нет точки кипения и градусные деления не идут выше 40° или 50° (Р.): они наносятся по сравнению с образцовым (нормальным) термометром, содержащим обе основные точки. Хорошие термометры должны давать достаточно согласные между собою показания, т.-е. показывать одно и то же число градусов при одной и той же температуре. Обыкновенные же термометры — по разным причинам — всегда более или менее расходятся. Правильность их показаний тесно связана с тем, что они показывают при температуре таяния. *Для проверки нулевой точки* термометр опускают—по возможности до нулевой черты—в чистый тающий снег или мелко-раздробленный лед и, когда ртуть установится, записывают показание. Потом, наблюдая температуру, принимают в расчет найденную разницу. Как многие не знают, что стоит сделать только эту простую проверку, и термометр, считавшийся «негодным», будет хорошо выполнять свое назначение!

На шкалу медицинских термометров, которая, как упомянуто выше, соответствует термометру Цельсия, наносится всего несколько градусов (выше и ниже 37° Ц.); длина, приходящаяся на каждый градус, значительно больше, чем, например, в комнатных термометрах, и разделена на 10 частей: этим увеличена точность «отсчета» температуры. В устройстве они имеют одну важную особенность. Часть ртутного столбика отрывается, как только термометр начинает охлаждаться, и остается на месте; это дает возможность не спешить с отсчетом температуры, а записать ее правильно через некоторое время после того, как ртуть установилась. Отрывается же столбик потому, что канал термометрической трубки в одном месте около резервуара сделан очень тонким.

171. Градусы выше 0° принято в общежитии называть градусами тепла, а ниже 0° градусами холода. Как известно, их отличают знаками + и —, поставленными перед числом градусов, например пишут + 15° и — 15°. Но «тепло» и «холод»—понятия относительные. Если сегодня оттепель (0°), а вчера было 5° тепла, (+ 5°), то все равно, скажем ли мы, что вчера было «теплее» сегодняшнего, или что сегодня «холоднее» вчерашнего. Температура, соответствующая оттепели (0°), будет «теплом» по сравнению, например, —с 10° холода (—10°); а эта температура, в свою очередь, будет «теплом» сравнительно с 20-градусным морозом. Наша повседневная привычка отличать именно температуры выше и ниже нуля особыми названиями «тепла» и «холода» происходит от того, что с переходом чрез нулевую точку нашего термометра связано изменение состояния воды, а с ним—резкое изменение картины всей нашей природы [1]).

До какой степени условны выражения, употребляемые нами для обозначения степеней тепла в разных случаях, показывают еще следующие примеры. Часто говорят: «теплая зима», «холодное лето». Самовар, в котором вода настолько остыла, что не годится для заварки чая, называют «холодным», между тем как он еще горяч наощупь. Про утюг, который недостаточно горяч для глажения, говорят: «холодный утюг» — хотя об него, конечно, можно сильно обжечься. Желтое пламя свечи имеет температуру гораздо более низкую, чем голубое пламя паяльной лампы (употребляемой для паяния металлов, обработки стекла и пр.), и мы назовем первое «холодным» сравнительно со вторым, когда дело коснется, например, размягчения в пламени стеклянной трубки.

172. Термометр дает нам гораздо более надежное средство для суждения о температуре, чем наше ощущение. Как последнее иногда может обманывать нас, показывает следующий опыт. Нальем в три сосуда воды: в один — комнатной, в другой— горячей, в третий — очень холодной, ледяной воды. Продержав некоторое время одну руку в горячей воде, другую в холодной, опустим руки в сосуд с комнатной водою. Разница в ощущении будет поразительна: одной руке вода покажется—свежею, другой— тепловатою. В погребе, в котором нам холодно в жаркий день, мы можем отогреться, озябнув на морозе. Затем каждый знает, насколько может расходиться суждение о температуре воздуха у двух разных лиц, находящихся в одном и том же помещении.

[1]) Температуру таяния или замерзания можно, конечно, обозначать и не нулем. Например, нулевая точка термометра Фаренгейта (употребляемого, между прочим, в Англии) соответствует $-14\frac{2}{9}$° по термометру Реомюра.

Температуру предметов очень горячих или очень холодных мы почти совсем не можем оценивать наощупь. Но, чтобы можно было доверять показанию термометра, необходимо соблюдать при определении температуры некоторые правила. Каждый термометр, строго говоря, показывает лишь свою собственную температуру, а последняя не всегда одинакова с температурою тех предметов, которых термометр касается. Чтобы термометр принял их температуру, нужно большее или меньшее время. Поэтому основное правило при определении температуры какого-нибудь тела—выждать, пока ртуть в термометрической трубке не будет более перемещаться. Термометр, погруженный в воду, принимает ее температуру довольно быстро; при определении температуры человеческого тела приходится держать термометр (под мышками) минут 10—15; температуру окружающего воздуха термометр принимает еще медленнее. Определяя температуру воздуха, кроме того, необходимо правильно помещать термометр. Например, при определении температуры комнатного воздуха, конечно, нельзя вешать термометр вблизи печки или окон. Но столь же непригодно подвешивание термометра (а эту ошибку часто делают) на наружной стене дома, так как такая стена подвергается в морозы сильному охлаждению извне, и висящий на ней термометр может показать температуру значительно ниже температуры комнатного воздуха. При определении температуры внешнего воздуха никоим образом не следует вешать термометр на солнце или на такой стене, которая может нагреваться действием лучей: иначе можно впасть в большую ошибку. Термометр подвешивается в открытом месте, внутри просторного ящика, снабженного горизонтальными прорезами с заслонками (чтоб в ящик не попали солнечные лучи, а воздух имел бы в него свободный доступ); самый ящик устанавливается на некоторой высоте над почвою.

173. Сделаем теперь несколько наблюдений, чтобы приобрести умение правильно пользоваться термометром.

a) Чтобы сравнить показания какого-либо термометра с показаниями другого, оба термометра опускают рядом в сосуд с водою так, чтобы резервуары их находились по возможности близко друг к другу и на одинаковой высоте. Воду все время размешивают и, когда ртуть в термометрах установится (здесь это происходит очень скоро), записывают показания. Воду берут разной температуры, смотря по той, при какой надо произвести сверку.

b) Предметы, находящиеся в комнате довольно далеко от печи и окон, имеют температуру если не всегда одинаковую, то очень мало отличающуюся — гораздо меньше, чем можно думать,

прикасаясь к предметам. Если оставить термометр на полчаса висеть рядом со стаканом воды, стоявшей очень долго в комнате (несколько часов), заметить температуру, а потом опустить его в эту воду, то обыкновенно окажется лишь незначительная разница; между тем наощупь вода может показаться нам прохладною. Металлические вещи в комнате (если они не были случайно нагреты) «холодят» при трогании их руками; но если шарик термометра, долго висевшего в комнате, погрузить в кучу лежащих тут же мелких гвоздей или железных опилок, то разницы в температуре почти не окажется.

Температура тел постоянно стремится к выравниванию. Самый термометр потому и показывает температуру тел, с которыми достаточно долго соприкасается, что ртуть принимает температуру последнего.

c) Солнечные лучи могут нагреть ртуть термометра гораздо выше температуры окружающего воздуха; бывает даже, что при морозном воздухе термометр на солнце показывает несколькими градусами выше нуля. Действительную температуру воздуха мы узнаем, если чем-нибудь заслоним термометр от солнечных лучей, и если самый термометр не находится около стены, которая уже была нагрета солнцем.

d) Повесим термометр против открытой топящейся печки. Когда ртуть установится, заслоним термометр куском картона от нагревания его «лучами»: ртутный столбик станет понижаться, пока опять не установится на некоторой более низкой черте, которая и будет соответствовать (если прошло достаточно времени) температуре окружающего воздуха. Все это наблюдается даже в расстоянии десятка шагов от жарко топящейся печи.

e) Хотя и менее заметно, но в сущности то же самое можно обнаружить, держа термометр поблизости против горячего утюга или неостывшего самовара и даже против теплой руки, но только выждая гораздо дольше.

Каждый нагретый предмет передает свое тепло окружающим менее нагретым не только чрез посредство воздуха, но и помимо него, — подобно тому, например, как солнце согревает землю чрез безвоздушное пространство почти в полтораста миллионов верст. Если тело достаточно накалено, то испускаемые им «лучи» воспринимаются нашим глазом как свет.

174. Вот несколько примеров температур чем-либо важных или интересных [1]):

[1]) Предлагается некоторые температуры, приведенные по Цельсию, выразить в градусах Реомюра, и наоборот. Так как числа вообще даны приблизительно, то можно округлять и получаемые после перевода на другую шкалу.

Температура таяния льда или замерзания воды обозначается 0°.

Температура наибольшей плотности воды 4° Ц. (Сколько по Р.?)

Температура кипения воды под давлением в 1 атмосферу (760 *мм*) обозначается 80° Р. или 100 Ц.

Температура кипения воды при среднем атмосферном давлении (418 *мм*) на вершине Монблана, самой высокой в Европе, 84° Ц. (Сколько по Р. ?)

Температура кипения воды при среднем давлении (235 *мм*) на вершине Эверест, самой высокой на земле, 70° Ц. (Сколько по Р.?)

Температура зимних жилых помещений 12—16° Р. (Сколько по Ц. ?)

Температура крови взрослого человека в здоровом состоянии около 37° Ц. (Сколько по Р. ?)

Температура крови у некоторых птиц достигает 43° Ц.

Крайние температуры воздуха на земной поверхности можно считать около — 56° Р. (Верхоянск) и + 45° Р. (Оазис Мурзук в Сахаре) [1]).

Температура отапливаемых углем плавильных печей с усиленным притоком воздуха выше 1000° Р.

Высшая температура, достигаемая ныне в «электрических печах», около 4.000° Ц. при обычном давлении и около 6.000 Ц. при повышенном.

Температура солнца (собственно его поверхности) считается в 6—7 тысяч градусов (Ц.). Многие звезды имеют, несомненно, еще более высокую температуру.

Низшая ныне искусственно достижимая температура около — 270° Ц. (примерно на 200° Ц. ниже соответствующей самому сильному холоду на земле). Температура мирового пространства в значительном удалении от небесных тел тоже чрезвычайно низка — быть может еще ниже только что названной [2]).

175. Вопросы. 1) Отчего у разных термометров (например обыкновенных комнатных и больших наружных) промежутки, соот-

[1]) В Ленинграде низшая отмеченная за 150 слишком лет температура была — 39° Ц., а высшая + 36° Ц.

[2]) Так как ртуть затвердевает около — 30° Р. (—39° Ц.), а кипит около 290° Р. (360° Ц.), то для определения очень низких и очень высоких температур ртутный термометр не годится, для сильного холода отчасти может служить термометр, содержащий безводный винный спирт (подкрашенный винный спирт именно находится в наружных или уличных термометрах). При определении же очень высоких температур термометрическим телом можно взять воздух (в платиновом или фарфоровом шарике с трубкой). Но для самых низких и самых высоких температур, какие ныне достигаются искусственно, и эти приемы не годятся: пользуются другими, которые здесь не могут быть объяснены.

прикасаясь к предметам. Если оставить термометр на полчаса висеть рядом со стаканом воды, стоявшей очень долго в комнате (несколько часов), заметить температуру, а потом опустить его в эту воду, то обыкновенно окажется лишь незначительная разница; между тем наощупь вода может показаться нам прохладною. Металлические вещи в комнате (если они не были случайно нагреты) «холодят» при трогании их руками; но если шарик термометра, долго висевшего в комнате, погрузить в кучу лежащих тут же мелких гвоздей или железных опилок, то разницы в температуре почти не окажется.

Температура тел постоянно стремится к выравниванию. Самый термометр потому и показывает температуру тел, с которыми достаточно долго соприкасается, что ртуть принимает температуру последнего.

c) Солнечные лучи могут нагреть ртуть термометра гораздо выше температуры окружающего воздуха; бывает даже, что при морозном воздухе термометр на солнце показывает несколькими градусами выше нуля. Действительную температуру воздуха мы узнаем, если чем-нибудь заслоним термометр от солнечных лучей, и если самый термометр не находится около стены, которая уже была нагрета солнцем.

d) Повесим термометр против открытой топящейся печки. Когда ртуть установится, заслоним термометр куском картона от нагревания его «лучами»: ртутный столбик станет понижаться, пока опять не установится на некоторой более низкой черте, которая и будет соответствовать (если прошло достаточно времени) температуре окружающего воздуха. Все это наблюдается даже в расстоянии десятка шагов от жарко топящейся печи.

e) Хотя и менее заметно, но в сущности то же самое можно обнаружить, держа термометр поблизости против горячего утюга или неостывшего самовара и даже против теплой руки, но только выждидая гораздо дольше.

Каждый нагретый предмет передает свое тепло окружающим менее нагретым не только чрез посредство воздуха, но и помимо него, — подобно тому, например, как солнце согревает землю чрез безвоздушное пространство почти в полтораста миллионов верст. Если тело достаточно накалено, то испускаемые им «лучи» воспринимаются нашим глазом как свет.

174. Вот несколько примеров температур чем-либо важных или интересных [1]):

[1]) Предлагается некоторые температуры, приведенные по Цельсию, выразить в градусах Реомюра, и наоборот. Так как числа вообще даны приблизительно, то можно округлять и получаемые после перевода на другую шкалу.

Температура таяния льда или замерзания воды обозначается 0°.

Температура наибольшей плотности воды 4° Ц. (Сколько по Р.?)

Температура кипения воды под давлением в 1 атмосферу (760 *мм*) обозначается 80° Р. или 100 Ц.

Температура кипения воды при среднем атмосферном давлении (418 *мм*) на вершине Монблана, самой высокой в Европе, 84° Ц. (Сколько по Р. ?)

Температура кипения воды при среднем давлении (235 *мм*) на вершине Эверест, самой высокой на земле, 70° Ц. (Сколько по Р.?)

Температура зимних жилых помещений 12—16° Р. (Сколько по Ц. ?)

Температура крови взрослого человека в здоровом состоянии около 37° Ц. (Сколько по Р. ?)

Температура крови у некоторых птиц достигает 43° Ц.

Крайние температуры воздуха на земной поверхности можно считать около — 56° Р. (Верхоянск) и + 45° Р. (Оазис Мурзук в Сахаре) [1]).

Температура отапливаемых углем плавильных печей с усиленным притоком воздуха выше 1000° Р.

Высшая температура, достигаемая ныне в «электрических печах», около 4.000° Ц. при обычном давлении и около 6.000 Ц. при повышенном.

Температура солнца (собственно его поверхности) считается в 6 — 7 тысяч градусов (Ц.). Многие звезды имеют, несомненно, еще более высокую температуру.

Низшая ныне искусственно достижимая температура около — 270° Ц. (примерно на 200° Ц. ниже соответствующей самому сильному холоду на земле). Температура мирового пространства в значительном удалении от небесных тел тоже чрезвычайно низка — быть может еще ниже только что названной [2]).

175. Вопросы. 1) Отчего у разных термометров (например обыкновенных комнатных и больших наружных) промежутки, соот-

[1]) В Ленинграде низшая отмеченная за 150 слишком лет температура была — 39° Ц., а высшая + 36° Ц.

[2]) Так как ртуть затвердевает около — 30° Р. (—39° Ц.), а кипит около 290° Р. (360° Ц.), то для определения очень низких и очень высоких температур ртутный термометр не годится, для сильного холода отчасти может служить термометр, содержащий безводный винный спирт (подкрашенный винный спирт именно находится в наружных или уличных термометрах). При определении же очень высоких температур термометрическим телом можно взять воздух (в платиновом или фарфоровом шарике с трубкой). Но для самых низких и самых высоких температур, какие ныне достигаются искусственно, и эти приемы не годятся: пользуются другими, которые здесь не могут быть объяснены.

ветствующие на шкале одному и тому же числу градусов, т.-е. самые размеры градусных делений, бывают различны? 2) Градус термометра Ц. соответствует меньшему изменению температуры, нежели градус Р.; будут ли градусные деления первого короче, чем последнего? 3) Почему для проверки нулевой точки термометра необходим тающий снег (или лед) и не годится мерзлый (сухой)? Кроме того, каких примесей не должен содержать снег? 4) Положим, что при проверке нулевой точки термометра в тающем снегу ртуть остановилась на $^1/_2{}^\circ$ выше нуля; если этот термометр показывает в комнате 16°, то какова «исправленная» температура комнаты? А если бы термометр в тающем снегу показывал на $^1/_2{}^\circ$ ниже нуля?

II. Плавление и испарение тел. Переход в жидкое и твердое состояние.

176. Температура, при которой твердые тела плавятся, чрезвычайно различна. Одни, как, например, сера, олово, легко плавятся уже в пламени обыкновенной спиртовой лампы; другие (железо, платина) становятся жидкими только при очень высоких температурах, именно в жару плавильных печей, отапливаемых углем, при сильном притоке воздуха; наконец, некоторые (глина, известь) требуют температуры еще более высокой. Поэтому на практике обыкновенно различают тела легкоплавкие, тугоплавкие и огнеупорные.

Испаряются как жидкие, так и твердые тела. Но испарение последних обыкновенно делается заметным лишь при температурах, близких к плавлению, а потому рассматривается преимущественно испарение жидкостей. Примерами легко испаряющихся твердых тел могут служить: камфора, нафталин, иод.

Жидкости испаряются тем быстрее, чем выше температура. При достаточном повышении температуры пар начинает образоваться и внутри жидкости: происходит кипение. С увеличением давления на поверхность жидкости температура кипения повышается, а с уменьшением понижается.

Все ли тела могут быть расплавлены и превращены в пар при достаточно сильном нагревании? На этот вопрос может ответить, конечно, только опыт. Прежде всего, мы знаем примеры тел, которые совершенно изменяются действием жара. Таковы: дерево, бумага, шерсть и многие другие тела органического (т.-е. растительного или животного) происхождения.

Выше (глава VI) мы познакомились и с другими примерами подобных химических изменений тел, производимых теплотою. Очень часто тело при нагревании распадается или разлагается

на два или более новых (таково разложение известняков, бертолетовой соли, окиси ртути и пр.). Изменяясь химически действием нагревания, тела уже перестают быть тем, чем были.

Если исключим из рассмотрения тела, которые при нагревании разлагаются, прежде чем расплавиться или испариться, то можно сказать вообще, что при достаточно высокой температуре плавятся или переходят в пар все твердые тела. Лава вулканов, состоящая из расплавленных горных пород, свидетельствует нам о плавкости камней. Плавление их производится и искусственно при тех степенях жара, которые довольно легко достигаются ныне в так называемых «электрических печах». В жару таких печей плавятся и испаряются также все металлы. При той чрезвычайно высокой температуре, которая господствует на солнце, твердых тел, вероятно, или вовсе не существует, или они образуются лишь временно. Есть звезды столь высокой температуры, что их можно предполагать состоящими только из расплавленных газов.

Наоборот, при достаточном понижении температуры пары и газы переходят в жидкое и твердое состояние. Исключения не составляет и воздух: сильным охлаждением, достигаемым искусственно в лабораториях и на заводах, его можно превратить в жидкое и твердое тело [1]).

Итак, называя одно тело твердым, другое — жидкостью, третье — газом, мы применяемся лишь к обычным условиям темпера-

[1]) Жидкий воздух начинает кипеть, под обыкновенным атмосферным давлением, при температуре около — 190° Ц. В чистом виде это — жидкость прозрачная и почти бесцветная. Попадая из аппарата, в котором производится сжижение, в стакан, она сильно вскипает, как бы прикасаясь к горячему предмету: можно действительно сказать, что по сравнению с этой холодной жидкостью стакан является «горячим» телом, так как его температура (комнатная) слишком на 200° Ц. выше температуры жидкого воздуха. С течением времени жидкость принимает явственный голубой цвет: таков именно цвет сжиженного кислорода, каковым жидкость мало-по-малу обогащается, ибо ее азот испаряется быстрее кислорода. Капля жидкого воздуха, брошенная на стол, бегает по нему, как капля воды на горячей плите, — постепенно испаряясь, т.-е. превращаясь в обыкновенный газообразный воздух. Точно так же бегает жидкий воздух по воде, при чем последняя замерзает с поверхности. Разожженный уголь продолжает гореть в жидком воздухе, при чем, вследствие низкой температуры жидкости, вместо углекислого газа, образуются белые хлопья углекислого снега. Физические свойства многих твердых тел поразительно изменяются при столь низких температурах. Резиновый мячик, полежавший в жидком воздухе, делается хрупким, как стекло, — разбивается при ударе на мелкие куски. (Согревшись он приобретает прежние свойства резины.) Охлажденная в жидком воздухе спираль из свинцовой проволоки временно приобретет упругость пружины; свинцовый колокольчик начинает звонить. Жидкий воздух нашел множество применений, главным образом, для получения очень низких температур.

туры, при которых имеем с ними дело. При очень высоких температурах мы имели бы только газообразные, а при очень низких— вероятно, только твердые тела.

Из предыдущего мы видим, как велика зависимость свойств тел от их температуры. С изменением температуры тела изменяются в размерах и объеме (плотности), переходят из твердого состояния в жидкое и газообразное и обратно; наконец, могут, изменяясь химически, превращаться в новые тела. Мы знаем, кроме того, что жизнь животных и растений возможна только в известных границах температуры. Отсюда понятна важность приборов, служащих для сравнения и измерения температур. Такие приборы и называются вообще термометрами.

Вот несколько примеров температур плавления и кипения:

Ртуть переходит из твердого состояния в жидкое—39° Ц. Чистый лед плавится или тает при температуре, которую принято обозначать 0°; растворимые примеси более или менее понижают температуру плавления. Желтый пчелиный воск плавится при 62° Ц. Из общеизвестных металлов самые легкоплавкие — олово и свинец: первое плавится при 230° Ц., а второй при 325° Ц. (упомянутый выше сплав из 2 в. ч. олова и 1 в. ч. свинца становится жидким уже около 185° Ц.), а наиболее трудноплавкие — железо (темп. плавл. около 1600° Ц.) и платина (темп. плавл. около 1800° Ц.); чистая платина только при исключительных условиях может быть расплавлена в жару, доставляемом горением угля, но в электрической печи «тает, как воск». Есть металлы, плавящиеся еще гораздо труднее платины [1]. Жидкий воздух закипает около 190° Ц. ниже 0°, т.-е. около—190° Ц. Жидкость, получаемая сгущением углекислого газа (и «жидкая углекислота »), кипит около — 80° Ц.; обыкновенный эфир кипит при 35° Ц. (следовательно, уже от согревания рукою), винный спирт около 80° Ц. Ртуть кипит около 360° Ц., а металлический цинк—около 950° Ц. (он легко кипит в жару кузнечного горна). При достаточно высоких температурах (электрической печи) могут кипеть и такие тугоплавкие металлы, как платина.

III. Обзор.

177. «Градус» термометрической шкалы есть восьмидесятая (Р.) или сотая (Ц.) часть промежутка между постоянными точками «таяния льда» и «кипения воды». Точка таяния есть

[1]) Металл вольфрам (идет между прочим на изготовление металлических нитей в электрических лампочках) плавится при 3000° Ц.

температура чистого тающего льда (она же—температура замерзания чистой воды), а точка кипения—температура паров воды, кипящей под условно принятым давлением в «одну атмосферу» (760 *мм* по барометру). Каждые 4° Р. означают то же, что 5° Ц.; отсюда 1° Р. = $^5/_4$° Ц., а 1° Ц. = $^4/_5$° Р.

Проверка нулевой точки термометра легко производится выдерживанием его в чистом тающем снегу.

Тепло и холод—понятия относительные. Градусы термометра как бы лестница, нижние ступеньки которой соответствуют ощущению нами холода, средние — тепла, а верхние — жара.

Показания термометра заслуживают доверия только при уменьи им пользоваться — при соблюдении некоторых необходимых предосторожностей.

Температура тел постоянно стремится к выравниванию. Самый термометр потому и показывает температуру тела, с которым достаточно долго соприкасается, что ртуть принимает температуру последнего.

Выравниванию температуры обыкновенно способствует перемещение воздуха. Но каждый нагретый предмет передает свое тепло окружающим менее нагретым и помимо воздуха — чрез «излучение». Лучи солнца или горячего очага могут нагреть термометр значительно выше температуры окружающего воздуха: поэтому при наблюдении температуры воздуха принимают меры против нагревания термометра лучами.

Самая низкая искусственно достигнутая температура близка к—270° Ц. (примерно на 200° Ц. ниже соответствующей самому сильному холоду на земле), а самая высокая — около 6000° Ц. (примерно на 4500° Ц. выше температуры доменных печей).

Все твердые тела плавятся и переходят в пар при достаточном повышении температуры—если не считать тех, которые при нагревании раньше разлагаются. Состояние тела — твердое, жидкое или газообразное — вполне обусловливается его температурою.

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ.

Количество теплоты. Теплота и работа.

I. Что значит «количество теплоты» и как о нем судят.

178. При горении тел в воздухе горючий материал поглощает кислород воздуха: соединяется с ним так, что преобразовывается в другие—обыкновенно газообразные—вещества (§ 47).

Горение — наш главный источник теплоты после солнца, и мы должны теперь рассмотреть это явление с новой стороны. Известно, что, например, каменный уголь дает при сжигании «больше теплоты», чем дрова. Что это значит? То ли, что при сжигании угля мы непременно получим более сильный жар, более высокую температуру, чем при сжигании дров? Нет: сильно раздувая пламя дров, мы достигнем более высокой температуры, чем при медленном тлении угля. Но можно сказать наверное, что если сжечь в печи *одинаковое количество* (по весу) угля и дров, то в первом случае воздух в одной и той же комнате нагреется больше, чем во втором. Также и то, что от пуда угля нагреется на одно и то же число градусов бо́льшее количество воздуха (бо́льшая комната), чем от пуда дров. Следовательно, о том, *сколько теплоты* доставляет тот или иной горючий материал, можно судить по его «нагревательной способности». В этом смысле и говорят о *количестве теплоты*; только обставляют ответы более точно. Обыкновенно судят о количестве теплоты, доставляемой горючим материалом, по тому, *сколько воды* и на *сколько градусов* будет нагрето, если сполна — без образования дыма и пахучих веществ — сжечь *весовую единицу* материала, и если теплота, по возможности без потерь, пойдет на нагревание воды. Положим, мы сделали бы такое сравнение, обставив его, как следует (что довольно трудно), для винного спирта и керосина; мы нашли бы следующее. Пусть, сжегши нужное количество спирта, мы нагрели 1 килограмм воды на 10°; истратив столько же по весу керосина, как и спирта, мы могли бы нагреть на те же 10° $1\frac{1}{2}$ килограмма воды, а взяв попрежнему 1 килограмм воды, мы нашли бы, что она нагреется на 15°. Итак, сжегши одинаковые количества того и другого материала, мы могли бы на керосине выкипятить в $1\frac{1}{2}$ раза больше воды, чем на спирту. Следовательно, керосин дает в $1\frac{1}{2}$ раза больше теплоты, нежели спирт.

Мы видим, что количество теплоты, как всякую иную величину, можно измерять: надо только условиться в выборе того ее количества, которое будет принято за единицу.

За тепловую единицу принимают количество теплоты, способное нагреть 1 килограмм воды на 1° Ц. [1]). Выбранная так единица количества теплоты называется *большой калорией*. Для нагревания на 1° двух, трех... килограммов воды надо, конечно,

[1]) Т.-е. повысить ее температуру с 0° до 1° или с 1° до 2° или с 10° до 11° и т. д. Не следует смешивать выражений: «нагреть на столько-то градусов» и «нагревать до стольких-то градусов» (в последнем случае считают от 0°). Если тело имело температуру 20° и было затем нагрето на 15°, то температура его повысилась до 35°.

затратить две, три... таких единицы. Нагревание 1 *кг* воды на 2,3... градуса потребует двойного, тройного... количества теплоты сравнительно с нагреванием воды на 1 градус—по крайней мере, это можно предположить (и это очень близко к действительности). Пусть один раз 12 *кг* воды были нагреты от 15° до 20°, т.-е. на 5°, в другой раз—5 *кг* воды от 15° до 27°, т.-е. на 12°. Сравним между собою количества теплоты, пошедшей в обоих случаях на нагревание. Для нагревания 12 *кг* на 1° потребовалось 12 тепловых единиц, а для нагревания 12 *кг* на 5°—в пять раз больше, т.-е. 60 единиц. Точно так же найдем, что для повышения температуры 5 *кг* воды на 12° потребуется 5 × 12, т.-е. те же 60 тепловых единиц. Что воде в обоих случаях были действительно сообщены одинаковые запасы теплоты, можно судить разными способами. Например для нагревания 12 *кг* на 5° и 5 *кг* на 12° потребовалось бы одинаковое количество определенного горючего материала (если только принять в расчет неизбежные тепловые потери). Или вот прием более точный. Если бы мы смешали 12 *кг* воды, имеющей температуру 5°, со льдом при 0°, то теплотою, отданною льду, было бы растоплено определенное его количество; но столько же льду было бы превращено в воду и от прибавки к нему 5 *кг* воды при 12°. Кроме большой калории, применяется еще и *малая калория* — единица в 1000 раз меньшая. Это — количество теплоты, от которого на 1° Ц. нагревается грамм воды.

Чтобы найти, сколько больших (или малых) калорий нужно для нагревания воды, стоит лишь число килограммов (или граммов) воды умножить на число градусов Ц., соответствующее повышению температуры (т.-е. на разницу между первоначальной и окончательной температурой).

179. *Примеры.* 1) Чтобы нагреть 20 *кг* воды от 0° до кипения, т.-е. до 100° Ц., нужно $100 \times 20 = 2000$ тепловых единиц. То же количество воды, охладившись от 100° Ц. до комнатной температуры, скажем, — 20° Ц., отдаст в окружающее пространство $20 . (100-20) = 1600$ единиц теплоты.

2) Смешано 15 килограммов воды, имеющей температуру 10° Ц. с 5 килограммами воды при 60° Ц. Найти температуру смеси, — предполагая, конечно, что нет потерь теплоты со стороны. Решение: 1-й прием. Представим себе, что вторая масса воды охлаждена до 10°, следовательно на 50°, и что отданные ею при этом 250 калорий временно где-либо запасены. Тогда мы будем иметь в общем 20 *кг* воды при 10° и 250 калорий; распределив их равномерно на 20 *кг* воды, найдем, что они нагреют ее на $12\frac{1}{2}$°. Следовательно, температура смеси будет 10° плюс $12\frac{1}{2}° = 22\frac{1}{2}°$. 2-й прием. Если бы обе массы воды были охлаждены

до 0°, то первая отдала бы 150 калорий, вторая 300, а всего 450 калорий, после чего мы имели бы 20 *кг* воды при 0°; распределив между ними 450 калорий, найдем, что вода нагреется на $22^1/_2$° выше 0, т.-е. что температура смеси будет $22^1/_2$°. Результаты подобных вычислений подтверждаются опытами.

180. Вот выраженные в больших калориях количества теплоты, развивающейся при сгорании наиболее употребительных в практике горючих материалов. При полном сгорании 1 килограмма

керосина (нефти)	развивается от 10000 до 11000	б. калорий.
стеарина	» 9500	» »
винного спирта	» 7000	» »
угля разных сортов	» » 4000 до 8000	» »
дерева » »	» » 4000 до 4500	» »

Нужна, конечно, некоторая привычка, чтобы сразу «видеть» значение подобных чисел. Возьмем, например, 8000 б. калорий, доставляемых 1 *кг* угля лучшего сорта. Сколько воды и на сколько градусов можно было бы нагреть этим количеством теплоты, если бы вся она, без потерь, пошла на нагревание. Рассматривая число 8000, как произведение числа килограммов воды на число градусов, мы можем любым образом разложить его на два множителя, например 1000 × 8, 500 × 16 и т. п., и принять один множитель за число килограммов воды, а другой — за число градусов нагревания. Представим число 8000 в виде произведения 80 (*кг*) на 100 (градусов). 80 *кг* воды это $6^1/_2$ ведер. Значит, теплотою, полученною из сжигания 1 *кг* угля можно было бы нагреть $6^1/_2$ ведер воды от 0° до кипения. На сколько градусов нагревались бы от того же количества теплоты 100 *кг* воды? Сколько килограммов воды можно было бы нагреть от 0° до кипения, сжегши 1 *кг* спирта?

Человеческий организм развивает при нормальных условиях в сутки, в среднем, около 2500 б. калорий. Взглянув на числа вышеприведенной таблички, мы например видим, что это количество теплоты соответствует тому, какое получается при сжигани $^1/_4$ *кг* (т.-е. около $^5/_8$) керосина. Сравним еще тепловую производительность нашего организма с количеством теплоты, доставляемым в то же время горением стеариновой свечи (4 на фунт). Так как каждый грамм стеарина развивает при сгорании 9,5 б. калорий (килограмм — 9500, см. табличку), то расходу $10^1/_2$ *г* соответствуют 100 больших калорий — почти столько же, сколько доставляется в час человеческим организмом.

Разные вещества, разные материалы, конечно, отличаются друг от друга по своему внутреннему сложению из молекул и по роду самых молекул; поэтому неудивительно, что для нагрева-

ния равных весовых количеств различных материалов на одно и то же число градусов, т.-е. для усиления в одинаковой мере молекулярного движения, требуются далеко не одинаковые количества теплоты. Это тотчас станет заметно, если, например, сравнить, сколько горючего материала пойдет для нагревания одинакового весового количества разных материалов на одно и то же число градусов. Положим, что, сжегши нужное количество спирта, мы нагрели килограмм **воды** на 1°. Чтобы нагреть на 1° килограмм **железа**, придется сжечь спирта гораздо меньше (в 9 раз), а для нагревания килограмма **свинца** или **ртути** — еще меньше (раз в 30). Наоборот, то самое **количество теплоты**, которое нагрело килограмм воды на 1°, повысит температуру килограмма железа на 9°, а свинца или ртути — примерно на 30°. (При этом, как всегда, предполагается, что потеря теплоты наружу устранена или принята в расчет.)



Рис. 188.

181. **Жар**, которого можно достичь, сжигая топливо, зависит не только от количества теплоты, доставляемой при сжигании весовой единицы материала, но и от условий, при которых происходит сгорание. Достигаемая при горении температура тем выше, чем больше топлива успевает сгорать в данное время, т.-е. чем быстрее сгорание и чем меньше потеря теплоты на нагревание окружающих предметов. Чтобы ускорить сгорание, усиливают в надлежащей мере приток воздуха (раздувание, тяга), а для уменьшения тепловых потерь окружают сжигаемый материал телами, медленно передающими теплоту наружу («дурными проводниками» теплоты), какова, например, кирпичная кладка печей. К уменьшению тепловых потерь ведет и замена воздуха **кислородом**, потому что тогда устраняется азот (в четверном против кислорода объеме, см. § 48), на нагревание которого в воздухе напрасно тратится теплота. Для усиления жара пламени спиртовой лампы или свечи часто прибегают к так называемой **паяльной трубке** (рис. 188), чрез тонкий кончик которой вдувают в пламя струю воздуха (рис. 189 и 190). В пламени паяльной трубки тонкая железная проволочка накаляется

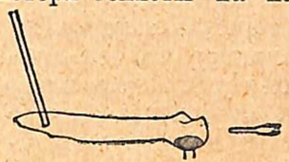


Рис. 189. Тонкий конец паяльной трубки находится на небольшом расстоянии от основания пламени. При вдувании воздуха получается удлиненное широкое синеватое пламя

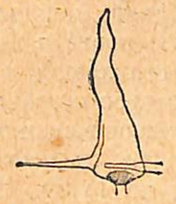


Рис. 190. Тонкий конец паяльной трубки вставлен глубоко в пламя. Получается синее остроконечное пламя.

до бела и сгорает, а кончик тонкой стеклянной трубки оплавляется и отпадает в виде полужидкой капли. В этом жару некоторые металлы уже заметно *испаряются*. Это можно видеть по своеобразной *окраске пламени*, в котором накаливают металл: окраска производится его парами, доведенными до высокой температуры. Если остроконечным пламенем паяльной трубки (рис. 190) накаливать тонкий обрезок листовой меди или кончик тонкой проволочки, то пламя окрашивается в зеленый цвет, а от цинка — в голубой. Ярко-желтая окраска пламени, происходящая от накаливания в нем кончика стеклянной трубки, зависит от испарения металла *натрия*, входящего в состав обыкновенного стекла.

182. Мы уже обращали внимание (§ 44) на сходство между горением и дыханием, состоящее в том, что в обоих случаях поглощается кислород и образуется углекислый газ. Сходство идет и дальше. Жизнь организмов, главным образом теплокровных, — постоянный источник теплоты. (Развитие теплоты наблюдается также у пресмыкающихся, у рыб и у насекомых; его невполне лишены и низшие животные организмы и растения.) Причина развития теплоты внутри тела — та, что в его тканях происходит непрерывное соединение органического материала с кислородом воздуха, медленное «окисление» материала тканей, как бы медленное горение. Любопытно сравнить тепловую производительность нашего организма с количеством теплоты, доставляемой в течение того же времени каким-нибудь материалом, которое сгорает *пламенем*. Оказывается, например, что человеческий организм при нормальных условиях работы и отдыха доставляет почти столько же теплоты, как горящая стеариновая свеча (4 на фунт). Это значит, что, например воздух в комнате нагревается от одного человека настолько же, как от одной свечи [1]. При усиленной мышечной работе, когда окисление в организме совершается быстрее, производство теплоты значительно увеличивается.

Та или иная *температура организма*, как и температура пламени, зависит, с одной стороны, от количества теплоты, развиваемой им в данное время (в единицу времени), с другой — от того, сколько теплоты он в то же время теряет наружу. Тепловые потери в разных условиях, конечно, очень различны, но равневесие между приходом и расходом теплоты в известных

[1]) Кстати, хороший пример коренной разницы между «температурой» и «количеством теплоты» (что очень часто смешивается). При почти одинаковой тепловой производительности температура пламени свечи гораздо выше температуры организма, потому что сгорание в первом случае гораздо быстрее и сосредоточено на малом пространстве.

границах поддерживается деятельностью здорового организма, так что температура внутри тела — в обычных для организма условиях — лишь мало колеблется около некоторой средней величины. Средняя *внутренняя* температура у человека около 37° Ц. (30° Р.). У птиц она вообще выше, нежели у млекопитающих (у некоторых птиц она достигает 43° Ц.), а у рыб только немногим выше температуры окружающей воды.

II. Расходование теплоты на плавление и испарение.

183. Обратимся теперь к таким явлениям, при которых теплота тратится, расходуется, можно даже сказать — *исчезает*. Конечно, теплота исчезает не бесследно, а производит в телах некоторые последствия, некоторые действия, все равно как она возникает или развивается не сама собою, а благодаря какимлибо предшествовавшим ей действиям. Задавали ли вы себе вопрос: почему лед всегда холоден? В комнате всякий холодный предмет спустя достаточное время принимает температуру окружающего воздуха, так как ему сообщается теплота от более теплых тел, лед же остается холодным. Ускорим к нему приток теплоты, положив кусок льду на горячую плиту: он будет таять, плавиться гораздо быстрее, но ничуть не нагреется... Не ясно ли, что сообщаемая льду теплота исчезает, перестает быть теплотой? Вот другое сходное явление. Вы довели воду до кипения и держите ее на огне, т.-е. сообщаете ей все новое и новое количество теплоты. Но она не становится горячее — даже если вы усилите, сколько угодно, жар пламени. Несомненно, что теплота опять расходуется, исчезает.

Сравним эти примеры — таяние льда и кипение воды — со случаями, при которых сообщение теплоты только нагревает тела, и мы увидим большую разницу в последствиях. При нагревании свойства тел, правда, несколько изменяются, но твердое тело остается твердым, жидкое — жидким. Во взятых же нами выше примерах вода переходит из твердого состояния в жидкое и из жидкого — в газообразное, т.-е. претерпевает гораздо более глубокое изменение: связь между частицами воды становится гораздо слабее, особенно в парах, и вот на то, чтобы сделать частицы более свободными от внутренних связей, главным образом и тратится тепловая энергия.

184. Вот еще явления, указывающие на трату теплоты при переходе твердых тел в жидкое состояние и жидкостей в газообразное. *Растворение* твердого тела в жидкости, хотя и про-

исходит от взаимного действия двух соприкасающихся тел, растворимого и растворителя, в некоторых отношениях все же сходно с плавлением: растворяясь, тело также переходит в жидкое состояние. И на этот переход т о ж е р а с х о д у е т с я т е п л о т а, которая заимствуется—если нет другого источника—от самой же жидкости. Поэтому-то при растворении многих твердых тел в воде замечается о х л а ж д е н и е. Обыкновенная столовая соль, растворяясь в воде, производит лишь незначительное понижение температуры. Селитра, нашатырь (мелко истолченные) охлаждают гораздо сильнее; если взять воду достаточно холодную, то можно после растворения получить температуру уже значительно ниже 0°, так что окруженная этой холодной жидкостью чистая вода (которую при опыте берут отдельно в пробирку), скоро замерзает [1]).

Известно, что смесь снега с обыкновенной солью дает холод значительно ниже 0° (о понижении температуры таяния льда от прибавки соли упоминалось уже в § 161). Теплота здесь частью расходуется на растворение соли в холодной снеговой воде. Но, кроме того, снег, смешанный с солью, тает быстрее чистого снега, при чем, однако, более быстрое расходование теплоты не восполняется соответственно ускоренным притоком ее извне. Смешивая снег с некоторыми другими солями, можно уже достигать температур до — 50° Ц. с лишком.

Когда жидкость испаряется без того, чтобы ее нагревали, как, например, вода и многие другие жидкости при комнатной температуре, то на парообразование тоже расходуется теплота, но здесь она доставляется окружающими предметами и прежде всего самою жидкостью. Если, как это обыкновенно бывает, расход теплоты на испарение не успевает пополняться притоком ее извне, то жидкость более или менее охлаждается. Можно заметно охладить воду в сосуде, если, обернув его мокрой тряпкой, выставить сосуд на ветер, чтобы ускорить испарение воды, пропитывающей тряпку. Расходование теплоты на парообразование становится прямо ощутительным, когда ее источником служит наша рука или другая часть нашего тела. Смочив руку водою, мы чувствуем охлаждение, которое станет сильнее, если махать рукою по воздуху. Ощущение холода будет еще сильнее, если смочить руку какою-нибудь быстро улетучивающеюся жидкостью, например винным спиртом или эфиром.

[1]) Самый же раствор остается жидким: растворы вообще затвердевают при температурах более низких, чем чистая жидкость, служащая растворителем, на что мы уже обращали внимание (§ 161) по отношению к воде. (Морская вода замерзает лишь около — 2° Ц.)

Охлаждение, производимое усиленным испарением эфира, таково, что им можно воспользоваться для искусственного замораживания воды. Для этого обертывают нижнюю часть пробирки слоем ваты, наливают в пробирку немного холодной воды и, обильно смачивая вату (охлажденным) эфиром, направляют на нее струю воздуха (машут куском папки): спустя некоторое время вода охлаждается до 0° и станет замерзать. Усиленное испарение весьма летучих жидкостей — жидкой углекислоты, жидкого воздуха и др. — служит одним из приемов и с к у с с т в е н н о г о д о с т и ж е н и я с а м ы х н и з к и х т е м п е р а т у р, которые в качестве примеров приведены были в § 174.

III. Расходование теплоты на работу.

185. О расходовании тепловой энергии на работу мы уже говорили выше (§§ 183 и 184). Теперь мы можем войти в некоторые подробности. Паровая машина, доставляя нам работу, р а с х о д у е т т е п л о т у. Что это собственно значит? Ведь если бы мы просто стали сжигать топливо в воздухе, не кладя его в топку паровой машины, теплота, повидимому, тоже расходовалась бы, исчезала, распространялась в воздухе и по соседним телам. Чтобы лучше понять, в чем именно дело, разберем следующий более простой пример «тепловой машины». Положим, мы имеем цилиндр с поршнем, на который положен груз; над поршнем находится воздух (рис. 191). Мы нагреваем воздух: давление его усиливается, и он приподнимает поршень, преодолевая некоторое сопротивление (равное весу груза и поршня, плюс давление атмосферного воздуха на поршень снаружи, плюс трение поршня о стенки цилиндра).

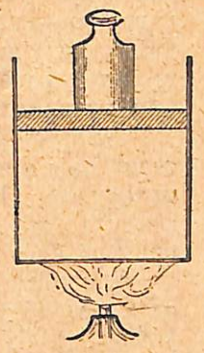


Рис. 191.

Следовательно, расширяющийся воздух совершает работу — конечно, тем большую, чем больше давление на поршень и чем выше он поднят. При этом будет сожжено некоторое определенное количество топлива. Но положим, что мы нагреваем тот же воздух, н е д а в а я е м у р а с ш и р я т ь с я, например, закрепив поршень неподвижно. Теперь прежней работы не производится, а опыт покажет, что для повышения температуры воздуха на то же число градусов, как прежде, придется сжечь меньше топлива, т.-е. затратить м е н ь ш е е к о л и ч е с т в о т е п л о т ы. В первом случае часть доставляемой топливом теплоты именно расходовалась на работу перемещения поршня. Предполо-

жим еще, что воздух был сперва сжат сравнительно с наружным, и что ему дают быстро *расшириться*. Преодолевая атмосферное давление, воздух совершает работу: он расходует при этом часть своего теплового запаса и *охлаждается*. Этим приемом, кроме упомянутого выше (§ 184), тоже удается достигать очень низких температур [1]).

Как мы объясним себе производство работы теплотою? Если рассматривать теплоту, как движение молекул тела, то сам собою напрашивается вывод, что удары многих и многих биллионов частиц, хотя в отдельности и ничтожные, действуя вместе, например на поршень цилиндра, должны произвести движение поршня, произвести работу. Но, конечно, самое движение частиц должно при этом ослабляться — скорость его будет уменьшаться, — т.-е. тепловая энергия расходоваться или тратиться.

IV. Обзор.

186. О «количестве» теплоты, доставляемой горением, обыкновенно судят по тому, сколько воды и на сколько градусов будет ею нагрето — способ, применяемый и к другим источникам теплоты. «Температура» пламени (его жар) зависит как от количества теплоты, развивающейся при горении, так и от быстроты сгорания материала — от быстроты притока воздуха (кислорода).

Теплота, развивающаяся при дыхании организмов, есть следствие окисления — как бы медленного сгорания — органического материала. Наш организм при нормальных условиях доставляет почти то же количество теплоты, как пламя четвериковой стеариновой свечи в течение того же времени.

При нагревании тел не вся сообщаемая им теплота производит повышение температуры, т.-е. усиление молекулярного движения: большая или меньшая часть ее тратится или расходуется на ослабление внутренней связи молекул. Во время плавления и кипения *вся* притекающая теплота расходуется только на то, чтобы сделать частицы более свободными одна

[1]) Наблюдать охлаждение воздуха вследствие расширения можно, например, так. В плотно закупоренную толстостенную склянку, изнутри смоченную водой, накачивают (описанным в § 83 насосом) воздух, пока не выскочит пробка: в этот момент внутренность склянки наполняется густым туманом, потому что вследствие охлаждения расширяющегося воздуха сгущаются содержащиеся в нем водяные пары. Так иногда происходит туман и в атмосфере: стоит только, когда воздух насыщен парами, быстро уменьшиться атмосферному давлению, чтобы воздух расширился и охладился ниже точки насыщения.

от другой: поэтому температура во время плавления и кипения не повышается. Тратою теплоты из имеющегося запаса объясняется охлаждение при растворении твердых тел в воде и при испарении; то и другое служит для достижения низких температур.

Теплота не только возникает при *работе*, т.-е. при движении тел против сопротивлений (обыкновенно при трении, ударе, сжатии), но, в свою очередь, может порождать работу: большая или меньшая часть теплоты при этом перестает быть теплотою, расходуется или, как еще говорят, *преобразовывается* в работу: энергия невидимого молекулярного движения переходит в энергию движения тела, как целого. Назначение паровых — вообще тепловых — двигателей состоит именно в том, чтобы преобразовывать теплоту, получаемую при сжигании топлива, в полезную для нас работу.

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ.

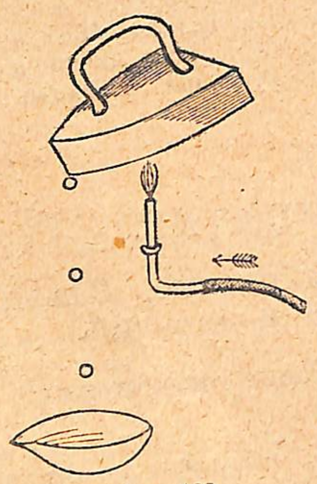
Явления физические и химические. Законы сохранения вещества и энергии.

I. «Физические» и «химические» изменения вещества.

187. «Веществом», или «материей», называют то, из чего состоят тела. Но и вещество не занимает собою всего занимаемого телом пространства: его частицы или молекулы, непрерывно движущиеся, отделены друг от друга бо́льшими или меньшими промежутками. От быстроты движения молекул данного вещества — от его теплового состояния — зависит то, будет ли это вещество твердым, жидким или газообразным.

Изменения вещества бывают двоякого рода. Когда вода превращается в лед и пар, она приобретает некоторые новые свойства и утрачивает некоторые прежние, но все же остается «водою»: мы именно скажем, что вода от отнятия или сообщения теплоты лишь переходит из одного «состояния» в другое. Соль, растворяясь в воде, переходит из твердого состояния в жидкое, но остается солью и снова может быть получена со всеми прежними свойствами, если дать воде испариться. Но нечто совершенно иное происходит, например, при сгорании свечи или спирта. Сгоревшие стеарин и спирт превращаются в *новые* вещества: в *углекислый газ* и *воду*. Первое мы уже

знаем (§ 44); а что образуется еще и вода, легко обнаружить, если держать над пламенем большой холодный предмет, например утюг: на нем тотчас появляется «роса», а потом и более крупные стекающие вниз капли воды (рис. 192). Вспомните, кроме того, всем известные явления: появление воды снаружи на кастрюльке, которую поставили греть на спиртовку, отпотевание лампового стекла, вставленного в горелку только что зажженной керосиновой лампы, и т. п. Эти и подобные им превращения вещества тел называются «химическими», в отличие от «физических» в более тесном смысле, при которых вещество тел хотя и изменяется в свойствах, но не настолько, чтобы сделаться «новым» веществом.


Рис. 192.

Вот еще несколько общеизвестных явлений, относящихся к химическим. Железо при накаливании в воздухе превращается с поверхности в черное хрупкое вещество—железную окалину; если накаливать железо в соприкосновении с воздухом достаточно сильно и долго, то можно любое его количество сжечь в окалину. Подобно железу изменяются в жару и многие другие металлы, о чем уже упоминалось выше (§ 47). В сыром воздухе железо покрывается буровато-красной ржавчиной; оставаясь в сырости достаточное время, железная стружка может постепенно вся превратиться в такой непохожий на железо порошок. Наконец, обычное горение дров в печи — еще более сложный пример химического изменения: материал дерева превращается не только в углекислый газ и воду, но еще и в другие газы, которые вместе с мелкими твердыми и жидкими частицами, тоже происходящими чрез изменение дерева действием жара, образуют дым; после сгорания остается зола — негорючие составные части древесины.

188. Что же собственно происходит в этих и подобных случаях с веществом тел? Происходит нечто весьма замечательное. Или разные вещества *соединяются* между собою в одно новое целое так, что его составных частей и не узнаешь, не отличишь друг от друга, или, наоборот, одно целое распадается, *разлагается* на несколько новых веществ. Если сжигать, например, чистый уголь в кислороде, то некоторое количество угля и кислорода как бы исчезает: взамен их происходит

углекислый газ, количество (вес) которого в точности равняется количеству (весу) исчезнувших угля и кислорода, вместе взятых. Наоборот, углекислый газ, получаемый готовым из известняков (§ 42), может быть разложен на уголь и кислород, вес которых вместе равен весу углекислого газа. Таким образом, об «исчезновении» угля и кислорода не может быть и речи: они лишь преобразовываются, делаются невидимыми составными частями нового вещества. А вода? Вода — тело «сложное» в том же самом смысле: она образуется чрез соединение водорода с кислородом, когда, например, водород сгорает в кислороде или воздухе и может быть разложена на водород и кислород. Если водород и кислород смешать в том объемном отношении, в котором они получаются при разложении воды, и зажечь, то смесь («гремучий газ») сгорает с сильным взрывом и без остатка превращается в воду [1]).

Вещества, сложенные из других так, что свойства составных частей в них прямо неузнаваемы, как бы скрыты, называются— *химически* сложными веществами или химическими соединениями. Каждое химическое соединение образуется из составных частей в совершенно *определенном весовом соотношении*. Например, в круглых числах, углекислый газ образуется из 3 весовых частей угля и 8 весовых частей кислорода, а вода — из 1 весовой части водорода и 8 весовых частей кислорода. Этим «химическое соединение» в особенности отличается от простой «смеси» тел; смешивать тела, например мелкие порошки твердых тел, между собою и с жидкостями мы можем в любых количествах, и составные части смеси мы так или иначе отличим друг от друга и после смешения.

Узнав кое-что о химическом составе воды и углекислого газа, мы теперь в состоянии понять, каким образом они происходят при сгорании стеарина, спирта и пр. Стеарин, спирт и многие другие обычные горючие материалы — химически сложные вещества, в состав которых входят *уголь* и *водород*: при сгорании, соединяясь с кислородом воздуха, первый дает углекислый газ, а второй — воду. Но так бывает тогда, когда горючий материал сгорает при достаточном доступе воздуха; это и называется «полным сгоранием». В противном случае составные части горючего материала, в состав которых большею частью входит и кислород, при содействии жара сочетаются между собою иначе: образуют много новых сложных веществ, которые частью не успевают сгореть («неполное сгорание»).

[1]) Разложить воду на водород и кислород можно и действием электрического тока (§ 319).

Кусок дерева можно сжечь при достаточном притоке воздуха так, что горючая его часть превратится только в углекислый газ и воду, без всякого дыма. Но можно, нагревая дерево при недостаточном для полного сгорания притоке воздуха, разложить его материал на много других химических соединений угля, водорода и кислорода — на те вещества, которые при неполном сгорании именно и образуют дым; простой опыт этого рода изображен на рис. 193 [1]).

189. Все рассмотренные здесь превращения вещества, происходящие — быстро или медленно — вследствие присоединения к ним кислорода, носят общее название *окисления* — что никоим образом не надо понимать буквально, т.-е. чтобы от этого непременно происходило что-либо кислое (как и название «кислорода» не надо непременно связывать с «кислотою»). Например можно сказать, что и железо при накаливании, когда оно превращается в окалину, окисляется; когда оно ржавеет—тоже, но только в образовании ржавчины неизбежно участвует *вода* (в совершенно сухом воздухе железо не ржавеет): железная ржавчина состоит из железа, кислорода и водорода.

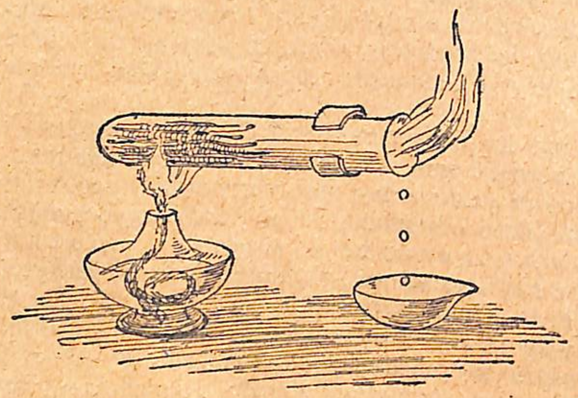


Рис. 193.

Материалы вроде дерева, стеарина, спирта, крахмала, сахара, и пр., получаемые из организмов растений и животных — прямо или путем некоторых переработок—носят название «органических»; многие из них, впрочем, могут быть получены и искусственно, помимо растительного и животного мира, из *неорганических или минеральных* тел, составляющих главный материал земного шара. В состав всех органических веществ входят *уголь и водород*; почти всегда еще и *кислород* (очень часто состав их усложняется и другими входящими в них веществами). Главными своими особенностями органиче-

[1]) Вонючий дым некоторых автомобилей — следствие неполного сгорания бензина; при полном сгорании образовались бы только углекислый газ и вода.

ские вещества, однако, обязаны *углю*; так как материал угля химики называют «углеродом», то органические вещества называются еще иначе «углеродистыми». Процесс окисления углеродистых веществ в живых организмах происходит с развитием теплоты при *дыхании* и сопровождается образованием углекислого газа и воды, как при обычном горении.

190. Химически сложные вещества обыкновенно разлагаются действием достаточно сильного жара, а также, как увидим впоследствии, электрическим током. Пробуя разлагать так или иначе различнейшие вещества, нашли около 90 таких, которые пока еще не удалось разложить дальше: их называют *химически-простыми* веществами или «элементами» сложных веществ (химических соединений). Вот краткий перечень простых веществ из числа более обыкновенных; водород, кислород, азот, сера, уголь (как составная часть или элемент сложных веществ он в химии называется углеродом), фосфор, железо, медь, ртуть, олово, свинец, цинк, магний, серебро, золото, платина — вообще все металлы (за исключением, конечно, «сплавов», каковы латунь, бронза и т. п.).

Частицы или молекулы химически сложного тела состоят из *атомов* простых веществ. Итак, мы видим, что небольшое число разнородных веществ, соединяясь между собою химически по два, по три и более, образуют тот материал, из которого природа строит свои бесконечно разнообразные формы [1]).

Отдел науки о природе, занимающийся изучением того, как материал тел природы образуется из простых веществ, как сложные вещества разлагаются, преобразовываются в новые, что такое, наконец, «простые» вещества, называется *химией*.

Между химическими и физическими явлениями существует самая тесная связь. Ни одно химическое превращение вещества не происходит обособленно от физических. Вот пример из числа нам уже известных. При горении и дыхании развивается теплота; главным нашим источником теплоты после солнца является именно химическое изменение топлива. Добавим к этому, что теплота возникает не только при всяком окислении, но и во множестве других случаев химического соединения тел. Напротив, нагреванием, сообщением теплоты сложному веществу, можно чуть не всякое разложить на более простые, в конце концов на те химически простые вещества, из которых оно состоит.

[1]) В последнюю четверть века существенно изменились некоторые взгляды на характерные особенности простых веществ. Кое-что об этом будет сказано отдельно, в главе тридцать второй.

Химически сложные вещества разлагаются и превращаются в новые также действием электрического тока: на этом в наше время основаны большие отделы химической промышленности. Наоборот, вещества, действующие химически друг на друга, могут служить для производства электрического тока. Возьмем, например, хотя бы тот «звонковый элемент», которым мы пользовались уже для опытов вводной главы (§ 2). В то время когда при нажимании кнопки звонок звонит, в элементе происходит химическое изменение. В его стеклянный стакан налит раствор нашатыря [1]), в который погружается или цинковая палочка, или свернутый в цилиндр цинковый листок; во внутренней части прибора вы увидите выставляющуюся наружу угольную палочку, которая заделана в смесь толченого угля и минерала, называемого «перекисью марганца»: это—химическое соединение металла марганца (вроде железа) с кислородом. Сходным образом устроена и батарейка в столь распространенных карманных электрических фонариках. В то время как элемент дает ток, цинк мало-по-малу преобразовывается, делается составною частью нового вещества, которое растворяется в воде, а перекись марганца теряет часть кислорода. Таким образом с течением времени материалы изменяются и перестают химически действовать друг на друга; вместе с тем прекращается и электрический ток.

Так как химические явления всегда сопровождаются физическими, а многие физические не обходятся без химических изменений, то знать кое-что из химии решительно необходимо для ознакомления с некоторыми частями физики. Мы могли здесь посвятить химическим явлениям лишь несколько страниц.

II. Закон сохранения вещества.

191. Все вокруг нас постоянно изменяется, преобразовывается, и каждое мгновение мир отличен от того, каким был мгновением раньше. Исследователь природы «ведет счет» всему, что изучает, подобно тому как это делается во всяком хорошем хозяйстве. Все, что только возможно, должно быть измерено, взвешено и оценено по достоинству; должны быть найдены некоторые общие руководящие правила, или законы, которые помогали бы дальше разбираться в подавляющей сложности явлений. Нам теперь к месту познакомиться с двумя основными законами, установленными наукой о природе.

[1]) Не смешивать названий: «нашатырь» и «нашатырный спирт» (см. § 50).

Закон сохранения вещества, или собственно его количества, высказывает ту простую и всем ныне понятную истину, что вещество не исчезает и не возникает вновь («из ничего») ни при каких известных нам превращениях. В этом убедились, тщательно взвешивая вещества до и после их превращения в новые: общий вес в конце концов оказывался неизменным. Вещество может только преобразовываться: кажущееся его исчезновение — лишь глубокое изменение, как, например, при сгорании свечи, когда образующиеся вещества ничем не дают о себе знать, потому что невидимы, не имеют ни запаха, ни вкуса. Не правда ли, против этой истины никто нынче и не подумает спорить. Скорее показалось бы удивительным, если бы дело происходило иначе. Но много страниц потребовалось бы, чтобы дать настоящее понятие о том, как трудно было испытателям природы установить этот, казалось бы, столь простой закон. Незаменимую услугу тут оказали весы. К какому изобилию новых открытий привел этот закон, тоже не расскажешь в нескольких словах. Огромная новая область знания, химия, завоевавшая себе исключительное по важности практическое значение, стала на твердую почву, сложилась в «науку» только с того времени, как был установлен закон сохранения количества вещества.

192. Для пояснения некоторых его подробностей рассмотрим следующий пример, тесно связанный с горением и дыханием. Мы знаем, что в том и другом случаях образуются углекислый газ и вода. Казалось бы, что при огромном числе живущих на земле организмов, постоянно выделяющих углекислый газ, и при большом количестве сожигаемого топлива, содержание углекислого газа в воздухе должно постепенно увеличиваться и, наконец, сделать нашу атмосферу негодною для поддержания жизни. Но существует процесс, пополняющий количество кислорода в воздухе по мере его расходования. Процесс этот совершается в зеленых частях растений, т.-е. в тех частях их, которые содержат «листозелень» (хлорофилл). Под влиянием солнечных лучей они разлагают углекислый газ воздуха: углерод делается составной частью тела растения (идет на их рост), а кислород выделяется в воздух. Расчет показывает, что таким путем может приблизительно поддерживаться постоянство состава нашей атмосферы.

Любопытно проследить судьбу углерода, входящего в состав углекислого газа нашей атмосферы. Растения, разлагая в своих зеленых частях углекислый газ воздуха, усваивают его углерод и частью в процессе дыхания снова отдают его атмосфере в виде углекислого газа. Но растения или поглоща-

IV. Виды или формы энергии.

194. Взглянем еще раз на виды энергии, с которыми мы уже имели дело, и добавим их другими, о которых речь впереди. Под «механической энергией» обыкновенно разумеют как энергию видимых или ощутимых нами движений (включая, следовательно, движение воздуха и т. п.), так и энергию тел покоящихся, но готовых двигаться, лишь только будут устранены сдерживающие движение причины, например в случае приподнятого груза, запруженной воды, сжатой (заведенной) пружины и пр. Примеры совершающегося на каждом шагу перехода «энергии движения» кинетической в энергию «положения» — потенциальную, и обратно, мы уже приводили выше.

«Тепловая энергия», или энергия молекулярного движения (теплота), в сущности тоже механическая, но по малости движущихся частиц скрытая от нашего взора; в нее в конце концов превращается энергия всякого движения тел и всякая вообще энергия на земле.

Смесь водорода с кислородом (гремучий газ) обладает энергией, которая именно обнаруживается — при поднесении пламени — взрывом со всеми его разрушительными действиями. Вообще энергией обладает всякое сочетание или всякая смесь тел, могущих взаимодействовать химически с развитием теплоты. Вот еще примеры: уголь и кислород; горючий материал, спички и кислород; смесь угля, селитры и серы, образующая черный порох, и пр. Энергия этого вида называется химической.

Обратим затем наше внимание на излучение солнца. Солнечные лучи, согревающие землю, производящие на ней непрерывный круговорот воды, воздушные и морские течения, круговорот углерода, на котором зиждется вся органическая жизнь, несомненно, представляют собою источник энергии — источник, говоря практически, неисчерпаемый. Эта форма энергии называется «лучистой энергией».

Электрическая энергия проявляется в малом виде, напр., притяжением тел к потертому о шерсть сургучу и электрической искоркой в темноте, а в большом — ударами молнии. Она же в форме электрического тока приводит в действие телеграф, служит для электрического освещения, для движения вагонов трамвая и для множества других целей, которых здесь и не перечислишь.

Физику нашего времени можно было бы, пожалуй, назвать наукою о различных видах энергии и их взаимных превращениях. Во всем многообразии явлений энергия — их общая мера, как в практической жизни деньги, которыми расцениваются различные виды труда и товара.

V. Соотношение единиц работы и теплоты.

195. Измеряя количество тепловой энергии, развивающейся при трении, ударе, сжатии и пр., нашли, что одна большая калория (§ 178) получается на счет некоторой совершенно определенной работы. Наглядно можно представить себе дело в числах так. Положим, что груз в 1 *кг* упал с высоты 427 м. В момент его удара о землю та энергия, которая была сообщена грузу поднятием, исчезает: взамен ее появляется теплота в количестве 1 большой калории, т.-е. такое количество теплоты, которое могло бы нагреть 1 *кг* воды на 1° Ц. Следовательно, если бы вода падала с высоты 427 *м*, и если бы теплота нисколько не терялась на стороны, то вода у основания такого водопада была бы теплее, чем вверху, на 1° Ц. (Кстати сказать, это в достаточной мере подтверждается наблюдениями над температурой высоких водопадов.) В русских мерах то же можно выразить так: 427 *м* = 200 саж., а 1 *кг* — около $^1/_{16}$ пуда; работа поднятия $^1/_{16}$ пуда на 200 саж. равнозначна работе поднятия 1 п. на высоту, в 16 раз меньшую, т.-е. на $12^1/_2$ саж., — а это высота большого пятиэтажного дома. Итак, энергия, утрачиваемая грузом в 1 п., упавшим с крыши высокого дома, равнозначна такому количеству теплоты, которое могло бы нагреть $2^1/_2$ ф. (1 *кг*) воды на 1° Ц., а, следовательно, всю упавшую воду — только на $^1/_{16}$°. Найдено, что, наоборот, когда работа получается расходованием тепловой энергии — как, например, в паровой машине — насчет каждой «преобразованной» в работу большой калории можно поднять 1 *кг* на высоту 427 *м*. То и другое вместе выражают короче, говоря, что одна большая калория равнозначна 427 килограмметрам работы [1]).

196. Примеры. 1) Для нагревания 1 *кг* воды от 0° до кипения (100° Ц.) нужно 100 больших калорий, которые равнозначны 427 × 100, или 42700 *кгм* работы. Ради наглядности представим эту работу в виде 400 (*кг*) × 107 (*м*), т.-е. в виде работы поднятия 25 пуд. на 50 саж. Итак, если бы теплоту, необходимую для

[1]) Вместо слова «равнозначный» часто можно встретить иностранное слово «эквивалентный»; отсюда и число 427 *кгм*, которым выражается соотношение единиц работы и теплоты, называется механическим эквивалентом большой калории или, короче, — механическим эквивалентом теплоты.

нагревания 1 *кг* воды (немного меньше $2^1/_2$ ф.) от 0° до кипения, всю израсходовать на поднятие груза, то можно было бы поднять 25 пуд. на высоту Исаакиевского собора в Ленинграде. Это дает нам хорошее понятие о величине той «внутренней работы», которая совершается сообщаемой тепловой энергией против сил, связывающих между собою молекулы воды.

2) На расплавление 1 *кг* льда при 0°, т.-е. на превращение 1 *кг* воды из твердого состояния в жидкое без изменения температуры, нужно затратить около 80 больших калорий — количество теплоты, которое соответствует работе в 427×30, или около 34000 *кгм*. Представив ее в виде 340×100 *кгм* и приняв во внимание, что 340 *кг* составляют около 21 пуд., а 100 *м* немного меньше 50 саж., мы видим, что работа против сил молекулярного сцепления при расплавлении 1 *кг* льда равнозначна работе поднятия груза в 20 с лишком пудов на высоту Исаакиевского собора.

3) Превращение 1 *кг* кипящей (при 100° Ц.) воды в пар той же температуры требует расхода 540 больших калорий, т.-е. почти в 7 раз большего, чем расплавление льда. Превращение тела в пар сопровождается при обычных условиях испарения — под давлением атмосферного воздуха — значительным увеличением объема; например, объем водяных паров при 100° Ц. в 1600 с лишком раз больше, чем воды, из которой они произошли. Следовательно, кроме внутренней работы—разъединения частиц—совершается еще работа расширения против внешнего (атмосферного) давления, так называемая «внешняя работа». Вычисление показывает, что при этом на внутреннюю работу все же идет не меньше $^9/_{10}$ затрачиваемой энергии; следовательно, работа против молекулярных сил при испарении 1 *кг* воды стоградусной температуры равнозначна работе поднятия слишком 130 пуд. на 50 саж.

После этого сравните между собою кусок льду, воду, образовавшуюся чрез его таяние, и пар, происшедший чрез испарение воды. Чем собственно отличаются друг от друга эти столь различные «состояния» воды? Различным запасом энергии, накопленной ее частицами. Вот в какой мере сообщение энергии может изменить свойства тела. Но оно может произвести в нем и еще гораздо большее изменение. Если нагреть водяной пар до очень высокой температуры, то он разлагается на составные части — водород и кислород; чтобы сполна разложить 1 *кг* пара, нужно затратить огромное количество тепловой энергии, именно слишком 3000 больших калорий, но зато как же глубоко изменяется вещество воды! Смесь водорода с кислородом, происшедшая от разложения воды, недаром называется «гремучим газом»: от соприкосновения с огнем газы снова соединяются, образуют воду,

и соединение это сопровождается страшным взрывом, т.-е. именно освобождением накопленной газами энергии.

4) При сгорании 1 *кг* угля хорошего сорта развивается около 8000 больших калорий, что равнозначно работе, круглым счетом, в 3400000 *кгм*, т.-е. примерно работе поднятия 200 пуд. на 1 версту, или 2000 пуд. на 50 саж. Из этого примера видно, какому огромному количеству работы соответствует теплота, доставляемая топливом (см. его тепловую производительность в § 180). Хотя сравнительно лишь малая часть ее может быть использована для производства работы (бо̀льшая часть теплоты теряется непроизводительно через передачу окружающим телам), тем не менее, становится весьма понятным, почему можно совершать столь всем известные большие действия помощью паровых машин.

5) Наглядным примером (который легко подсчитать) непроизводительной траты (потери) энергии при преобразовании теплоты в работу может служить следующий: килограмм пушечного пороха, сгорая, дает около 750 больших калорий, что составляет $427 \times 750 = 320000$ *кгм*. По произведенным же измерениям работа, доставляемая 1 *кг* такого пороха, $=$ 100000 с лишком кгм., т.-е. всего $^1/_3$ вычисленной в предположении полного преобразования.

VI. Обзор.

197. Изменения вещества бывают двоякого рода. В одних случаях, когда вещество тел, хотя и изменяется в свойствах, но не настолько, чтобы сделаться «новым» веществом, мы имеем дело с явлением физическим в более тесном смысле. В других случаях, когда одни вещества превращаются в другие, совершенно новые, говорят о химических явлениях. Между химическими и физическими явлениями существует самая тесная связь.

Закон сохранения вещества: вещество не исчезает и не возникает вновь («из ничего») ни при каких известных нам превращениях.

Мерою «энергии» служит работа — перемещение тел против сопротивлений. Работа поднятия грузов — тот вид работы, к которому может быть приведена всякая другая; отсюда и количество энергии можно оценивать по тому, какой груз и на какую высоту может быть поднят ее затратою. Энергия, затраченная на поднятие груза, как бы запасается в его новом положении и полностью отдается обратно, когда груз возвращается к прежней высоте над землею. Если энергия затрачена на то, чтобы привести тело в движение, то она сохраняется им полностью

только в том случае, — неосуществимом на земле, — когда тело движется без сопротивлений на пути. Иначе (обычный случай) она тратится в преодолении сопротивлений, превращаясь в теплоту; тело утрачивает свою скорость и останавливается.

Энергия, обусловленная движением тела, называется энергией движения (или кинетической), а та, которая зависит от положения тела относительно другого или частей тела по отношению друг к другу, — энергией положения (или потенциальной). Оба эти вида «механической» энергии связаны взаимными превращениями, при чем общее количество (сумма) энергии того и другого вида остается неизменным — в предположении, что энергия не доставляется со стороны и не тратится на сторону (например, на трение).

Теплота — энергия молекулярного движения. В нее в конце концов превращается всякая расходуемая так или иначе энергия.

Закон сохранения энергии: энергия в природе не уничтожается бесследно и не возникает из ничего, а лишь преобразовывается, и всякая израсходованная («исчезнувшая») энергия возмещается появлением равного количества энергии другого или других видов.

Кроме механической и тепловой (по современному взгляду — химической) известны еще другие виды или формы энергии, например, химическая, лучистая, образцом которой служит энергия солнечных лучей, и электрическая, проявляющаяся разрушительными действиями молнии, а на практике — в виде электрического тока, находящая множество полезных применений.

Прилагая закон сохранения энергии к явлениям превращения механической энергии в тепловую и теплоты в механическую энергию, нашли, что 1 большая калория равнозначна (эквивалентна) 427 килограммо-метрам. Число — 427 *кгм* называется механическим эквивалентом теплоты.

ГЛАВА ВОСЕМНАДЦАТАЯ.

О передаче и преобразовании энергии помощью машин.

I. Простые машины.

198. Совершая для своих обиходных потребностей работу человек не только расходует энергию, развиваемую им самим или каким-нибудь рабочим животным, но издавна пользуется для той же цели энергией неживых двигателей — движущейся

воды и ветра, а позже научился применять и тепловую энергию. Энергию он обыкновенно заставляет действовать не прямо против того сопротивления, которое имеется в виду преодолеть, а через посредство более или менее сложных приспособлений. Например, энергия падающей воды преодолевает сопротивление хлебного зерна, раздробляемого в муку, через посредство водяного колеса, движущего несколько других и под конец — жорнов; ряд сходных приспособлений служит также для размалывания зерна энергией ветра (укажите еще примеры). Приспособления, служащие для передачи энергии и преобразования (видоизменения) ее сообразно нашей цели, называются вообще **машинами**. Какое множество машин всюду работают теперь на пользу человека! И каждая из них передает и преобразовывает какого-нибудь вида энергию так, что ею совершается та или иная нужная для человека работа.



Рис. 194.

Рассмотрим несколько примеров **простейших машин**. Возьмем сперва **рычаг** (см. § 58). Надавливая на один конец лома, рабочий передает работу другому его концу — легко сворачивает с места тяжелый груз или срывает с ящика крепко прибитую крышку (рис. 194). В машинке для раскалывания сахара (рис. 195) работа нажимающей на рычаг руки передается куску сахара и при малом усилии наших мышц раздробляет его. Рычаг точно создает новую силу. Да, рычагом можно очень усилить **давление** на тело. Но не подумайте, что вы при

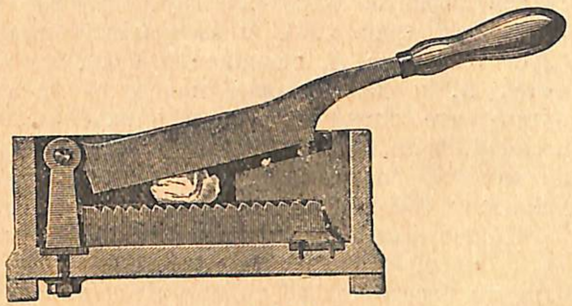


Рис. 195.

этом хотя сколько-нибудь выигрываете в работе, что вы создаете новую энергию. Ведь для подсчета работы необходимо принять во внимание не только силу давления или тяги, но и путь, пройденный той точкой, на которую она действует. Припомним, что в самом простом случае — при поднятии груза — работа находится через умножение величины груза на высоту поднятия, и взглянем с этой точки зрения на передачу работы рычагом. Пусть на нем были уравновешены два груза: меньший, действующий на более длинное плечо, и больший, приложенный к более короткому (рис. 196); положим, что первое втрое длиннее второго: тогда 1 килограмм на первом уравновешивает 3 килограмма на втором. Пока рычаг в покое, он не работает и еще не служит машиной, но может быть применен для другой важной цели — для взвешивания тел. Теперь положим, что меньший груз Q опускается: он, следовательно, тянет и движет более длинное плечо за точку B — совершает работу. В то же время груз P поднимается: конец A рычага преодолевает сопротивление этого груза, — тоже совершает работу. Работа меньшего груза Q передается рычагом большему грузу P. Но взгляните внимательно на чертеж (рис. 196), и вы увидите, что высота, на которую опустится точка B, непременно больше той, на которую поднимется A, и даже можно наверное сказать, что втрое больше, потому что плечо BC втрое длиннее плеча AC. Если груз Q, весящий 1 *кг*, опустится на 1 *дм*, то груз P, равный 3 *кг*, поднимется на $^1/_3$ *дм*; произведение груза на высоту, мера работы, с той и другой стороны одно и то же, именно $= 1$. [1])

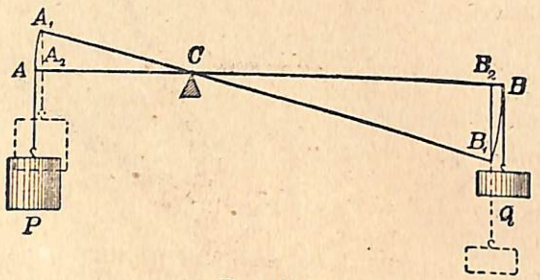


Рис. 196.

Но тут начинающий (незнакомый с механикой) может встретить большую трудность. Точки A и B при перемещении рычага не просто только поднимаются или опускаются, а движутся по дугам круга. Почему же при подсчете работы была принята во внимание только вертикальная высота? Обойти трудность мы

[1]) Знающие кое-что из геометрии о подобных фигурах сразу увидят из подобия треугольников $AA'C$ и $BB'C$, что сторона AA' во столько раз меньше стороны BB', во сколько раз $A'C$ меньше $B'C$, т.-е. что $AA' : BB' = A'C : B'C$, откуда $AA' \cdot B'C = BB' \cdot A'C$.

можем так. Обыкновенно ведь вполне достаточно самого незначительного перемещения рычага, чтобы произвести концом его более короткого плеча то наибольшее давление, которое в данных условиях возможно (стоит лишь обратить внимание на действие лома, — рис. 194, и машинки для раскалывания сахара, — рис. 195).

Поэтому ограничимся ничтожно малым поворотом рычага из его горизонтального положения; тогда пути, по которым переместится точки A и B, почти не будут отклоняться от отвесного направления; наше заключение о величине работы будет тем ближе к действительности, чем меньше поворот рычага. В механике легко и со всею точностью вывод распространяют на случаи любого поворота рычага и всяких действующих на него сил, не только грузов. Но мы вынуждены ограничиться сказанным. Возьмите какое угодно соотношение плеч, и если только вы подберете груз правильно — согласно закону равновесия на рычаге, то непременно получатся с обеих сторон равные произведения. Меньший груз, опускаясь, утрачивает как раз столько энергии, сколько приобретает больший. (Почему именно первый «утрачивает», а второй «приобретает»? Вспомните сказанное в параграфе об энергии положения.)

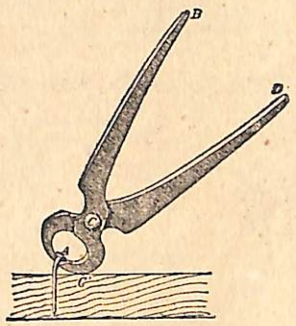


Рис. 197.

Вывод — простой, но не особенно верный: «закон сохранения энергии» позволил бы его предвидеть. Работа передается рычагом от точки приложения движущей силы (в нашем примере Q) к точке приложения противодействия P без изменения в величине, но преобразованною: работа силы в 1 *кг* на протяжении 1 *дм* видоизменяется в работу силы в 3 *кг* на протяжении втрое меньшем. Явный «выигрыш в силе» неизбежно сопровождается «проигрышем в пройденном пути», т.-е. и в скорости перемещения.

199. То, что сказано о рычаге в его простейшей форме (прямолинейном), относится и к другим случаям передачи работы приспособлениями, имеющими ось вращения. Из инструментов возьмите, например клещи (рис. 197). Ими пользуются двояко. Схватывая, например, гвоздь губками клещей, мы действуем рычагом, ось вращения которого в C, а плечами служат расстояния CB (CD) и CA. Когда же мы вытягиваем гвоздь так, как показано на рисунке, опорою служит точка C', а плечами — расстояния $C'B$ и $C'A$; в последнем случае легко достичь того, чтобы CA было

во много раз меньше $C'B$ — именно в самом начале, когда противодействие вбитого гвоздя наибольшее. (Вспомните, кстати, о том, как вы, просто уже по привычке, изменяете отношение плеч

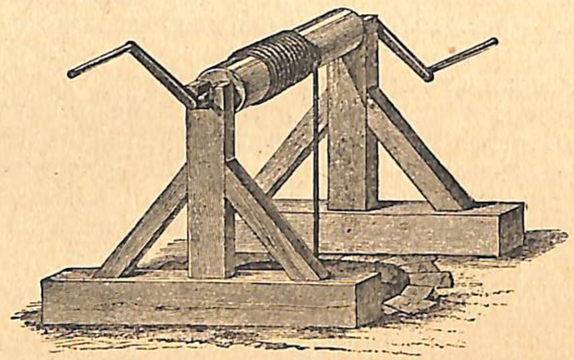


Рис. 198. Ворот.

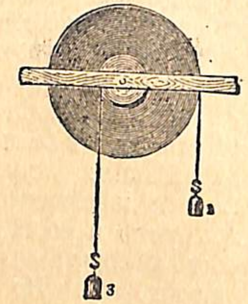


Рис. 199. Ворот.

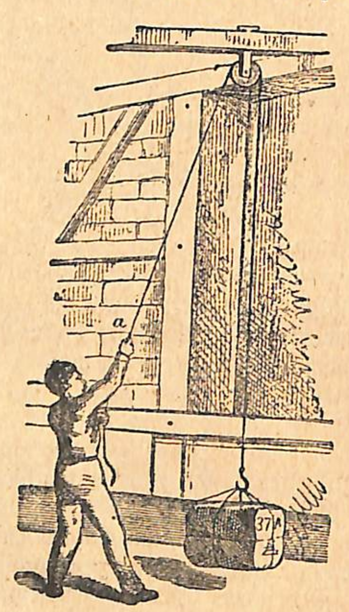


Рис. 200. Неподвижный блок.

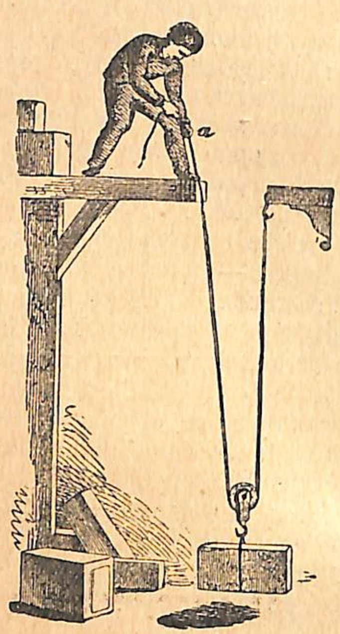


Рис. 201. Подвижный блок.

у ножниц при резании ими писчей бумаги или жести.) Очень обычные машины представляют из себя как бы скрытый рычаг. Таков, например, всем известный **ворот** (рис. 198 и 199): плечам рычага в нем соответствуют радиусы колеса и вала. На рис. 200



Рис. 202. Полиспаст. При трех подвижных блоках каждая единица силы, тянущей за конец веревки a, уравновешивает $6 = 2 \times 3$ единиц груза, подвешенного к крюку, так как вес груза равномерно распределяется на шесть приблизительно параллельных веревок, а сила при a тянет только одну из них.

представлен **неподвижный блок** (т.-е. блок, остающийся при вращении на месте): он соответствует равноплечному рычагу и изменяет желательным для нас образом лишь направление тяги, но не ее величину; а рис. 201 изображает **подвижный блок**

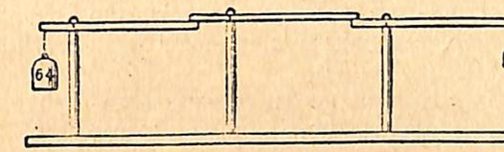


Рис. 203.

помощью которого выигрывается в силе — при параллельных веревках — вдвое, но зато точке приложения тяги (a) приходится пройти путь вдвое более длинный, чем поднимаемому грузу. Остроумным сочета-

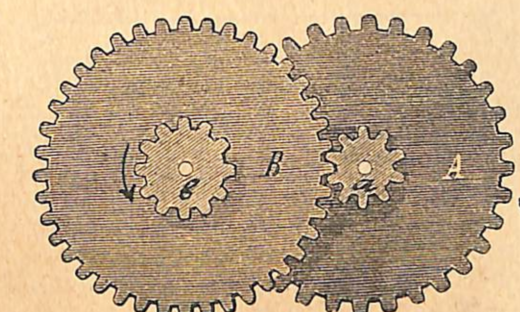


Рис. 204. Зубчатые колеса.

нием блоков в сложные блоки или **полиспасты** удается достичь еще большего выигрыша в силе, — но всегда с соответственной потерей в проходимом пути. Устройство одного из видов полиспаста представлено на рис. 202.

Для достижения большого выигрыша в силе можно сочетать рычаги так, как на рис. 203. Сравним такое сочетание со сцепленными между собою зубчатыми колесами (рис. 204) и мы най-

дем большое сходство;—в последнем случае плечам соответствуют, конечно, радиусы колес (из которых меньшие a, b обыкновенно называются шестернями). Подобные сочетания из многих колес нередко служат для преодолевания огромных сопротивлений, например, в грузоподъемных машинах и др. Кому случается видеть такую машину в действии, пусть обратит внимание на то, как медленно поднимается груз и как сравнительно быстро вертится колесо, на которое непосредственно действует движущая сила, например, давление руки рабочего или стержня, идущего от паровой машины.

200. Нельзя не упомянуть еще о роде машин, приводящихся к другой простейшей — к так называемой наклонной плоскости. Попробуем втаскивать груз вдоль наклонно положенной доски: мы заметим, что это тем легче, чем отложе доска. Между величиной силы, тянущей груз вдоль наклонной плоскости, и грузом, который она может удержать на плоскости, существует очень простое соотношение (в действительности более или менее нарушаемое трением): если, например, «высота» AB наклонной плоскости (рис. 205) вчетверо меньше ее длины AC, то единицею силы можно удержать на ней 4 единицы груза, — повозка в 20 *кг* будет удержана тягой всего 5-килограммовой гири. Но зато «точке приложения» силы придется пройти вдоль плоскости путь вчетверо больший (AC), чем та высота (AB), на которую груз будет поднят. Здесь, так же, как и в случае рычага, работа не создается машиною: произведение силы на путь, пройденный повозкой вдоль наклонной плоскости ($5 \times AC$ или 5×4), равно произведению поднимаемого груза на высоту его поднятия ($20 \times AB$ или 20×1).

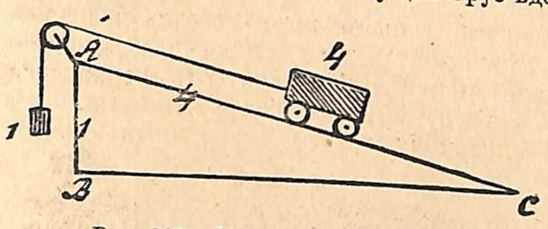


Рис. 205. Наклонная плоскость.

Наклонная плоскость, как и рычаг, тоже является в различных видах. Одним из примеров служит винтовая лестница. Винтовую линию мы получим, если вырезанный из бумаги прямоугольный треугольник приложим одной из сторон прямого угла (катетом) по длине цилиндра и затем обмотаем вокруг (рис. 206). Здесь «длине» наклонной плоскости будет соответствовать длина винтовой линии на каждый оборот, а высоте—вертикальное расстояние между двумя соседними оборотными «витками» (см. также рис. 207). На рисунке 207 и 208 изображены нарезки винта и той части, в которую он ввинчивается (матки винта). Не

менее известный всем клин (рис. 209) можно рассматривать, как две сложенные «основаниями» наклонные плоскости: сила, вгоняющая клин (например удар молотка), действует по направлению общего основания, а сопротивление преодолевается каждой из наклонных плоскостей, т.-е. боками клина. С дей-

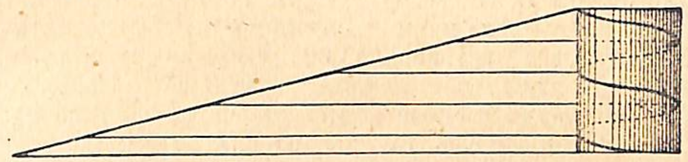


Рис. 206.

ствием клина мы встречаемся во многих инструментах, как, например, топор, долото; в качестве клина служит и утончающийся к концу гвоздь и режущее лезвие инструмента. Чем тоньше клин сравнительно с его длиной, тем большим выигрышем в силе сопровождается его действие.



Рис. 207. Нарезка винта.

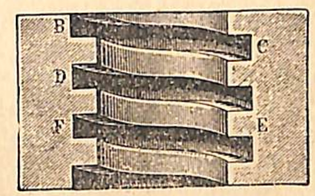


Рис. 208. Нарезка матки винта.



Рис. 209. Клин.

201. Работа может быть передаваема с выигрышем в величине перемещения, следовательно—в скорости. Например, если двигать рукою короткое плечо рычага, то конец длинного перемещается быстрее соответственно отношению длины плеч. При таком сочетании рычагов, как на рис. 203, когда 64 единицы силы слева могут быть уравновешены 1 единицею справа, перемещение правого конца машины в 64 раза больше, нежели левого [1]. В системе зубчатых колес (рис. 204) действием силы на окружность шестерни B можно сообщить колесу A быстрое вращение,

[1]) В § 60 мы видели применение этого принципа для того, чтобы сделать более заметным удлинение проволоки при нагревании.

чем постоянно и пользуются во множестве механизмов. Таково же чаще всего назначение ременных передач, которые каждый знает по примерам токарного или точильного станков, ножной швейной машины и пр. Во всех этих и подобных случаях передача работы сопровождается потерею в силе, тем более значительной, чем больше выигрывается в скорости. Возьмем пример,—правда, из области «научного воображения», который, однако, хорошо выставляет на вид роль машин. Зададимся целью поднять каменную колонну, вес которой 55.000 пудов, силою всего в 1 пуд; положим, что для этого имеется достаточно крепкая система блоков или зубчатых колес. Чтобы поднять колонну всего на 1 сажень, пришлось бы конец веревки, к которой приложена пудовая тяга, вытянуть на 55.000 саж., т.-е. на 110 верст. Очень медленно, но цель была бы все же достигнута, сделано то, что с первого взгляда показалось бы невозможным. Наоборот: положим, что колонна поднята и повисла в воздухе. Прикрепим к концу вытянутой нами веревки вагончик, поставленный на рельсы, и дадим колонне опускаться. Пусть она опустится на 1 сажень, вследствие огромной величины трения, в течение часа: вагончик должен будет в это время пробежать по рельсам 110 верст, т.-е. двигаться быстрее ж.-д. поезда на полном ходу.

202. Итак, машины не создают новой работы, новой энергии, а лишь передают и преобразовывают ее. Много изобретательности было проявлено человеком прежде чем машины стали совершать те «чудеса силы и скорости», перед которыми не один из нас останавливается в немом удивлении, и в такой степени увеличили производительность человеческого труда. Но есть одна сторона в работе машин, против которой бессильна и гениальная изобретательность. Машина не передает и не может передать без потери всей воспринятой ею энергии. Часть работы — иногда весьма значительная — бесполезно тратится на неизбежные сопротивления: на трение частей и сопротивление воздуха; возникающая на счет этой затраты тепловая энергия непроизводительно рассеивается в окружающем пространстве. Принимаются, конечно, всевозможные меры, чтобы ослабить сопротивления, уменьшить бесполезную трату энергии, но дальше некоторых границ итти некуда. Пробовать перешагнуть их — значило бы итти против закона сохранения энергии. Таким образом в действительности машине всегда должно быть сообщено извне бо́льшее количество энергии, чем то, которое надо передать так или иначе, смотря по назначению машины.

Однако, множество попыток прежде делалось с целью построить такую машину, которая, будучи раз приведена в движение, про-

должала бы двигаться безостановочно сама собою, производя полезную работу и ничего на себя не затрачивая. В длинной истории этих попыток нередки примеры увлечений, поведших изобретателей к разорению и нищете. Мечта открыть секрет «вечно работающего механизма» [1]), конечно, была очень заманчива: можно было рассчитывать обогатиться и, казалось, осчастливить заодно и все человечество. Но все попытки остались тщетными, и это убедило представителей точной науки в их бесцельности еще значительно раньше открытия закона сохранения энергии, для которого таким образом была подготовлена благоприятная почва. Ныне невозможность вечно работающего механизма— одна из основных истин физических наук, и проекты построения машин, которые двигались бы без всякой затраты извне—в буквальном смысле «самодвижущихся»—можно встретить почти что только в виде курьезов или задач на розыскание скрытых в них несообразностей [2]).

II. Тепловые двигатели.

203. Никто, конечно, не скажет, чтобы паровая машина представляла случай «самодвижущегося» механизма в упомянутом выше смысле: стоит только вспомнить о заготовленных для нее грудах топлива. Сжигая в топке дрова, каменной уголь или нефть, нагревают воду в прочном паровом котле, откуда пар проводится в паровой цилиндр машины. Особенность ее в том, что источник работы соединен здесь в одно целое с частями, служащими для передачи работы по назначению: поршень парового цилиндра воспринимает и передает энергию нагретого пара, доставляемую, в свою очередь, горением топлива. Совсем разное

[1]) По-латыни — «perpetuum mobile».

[2]) Не могу не привести здесь следующего воспоминания, относящегося к средине шестидесятых годов. На десятом году от роду я часто проводил время в имении у одного большого любителя машин, очень увлекавшегося их применением в нашей обыденной сельско-хозяйственной обстановке и сделавшего в этом отношении немало полезного. Но вот один из его неудавшихся проектов. Для снабжения усадьбы водою он установил в колодце насос, накачивающий воду в большой чан, и задумал отвести от последнего часть воды для приведения в движение наливного колеса, которое, в свою очередь, должно было накачивать воду насосом. Предполагалось, таким образом, без затраты работы извне, поддерживать движение механизма, который доставлял бы воду всей усадьбе. Сперва, так как чан был предварительно наполнен водою, колесо завертелось, и насос стал работать. Но вскоре запас воды, конечно, исчез, и все остановилось: разочарование было полное... Для знакомого с законом сохранения энергии заранее была бы очевидна вся несообразность этой попытки.

назначение обеих частей ясно видно, например, из того, что очень часто (в заводских машинах) топка и паровые котлы устанавливаются в отдельном помещении, из которого пар подводится по трубам к паровым цилиндрам. В цилиндре работа перемещения поршня совершается расширяющимся водяным паром более или

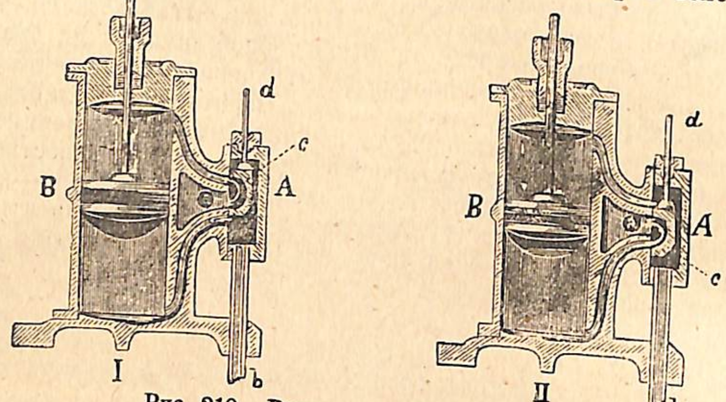


Рис. 210. Разрез парового цилиндра.

менее высокой температуры, при которой он производит сильное давление на поршень. Движение поршня, перемещаемое вперед и обратно, передается главному колесу машины—подобно тому как в токарном станке или швейной машине качания педали преобразовываются во вращательное движение колеса. Расширяющийся под поршнем пар расходует часть своего теплового запаса—охлаждается: эта исчезнувшая теплота именно и преобразовывается в работу.

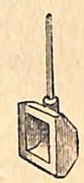


Рис. 211. Золотник.

Чтобы поршень парового цилиндра мог непременно двигаться вперед и обратно, нужно производить на него давление попеременно то с одной, то с другой стороны, т.-е. направлять пар то в одну, то в другую часть цилиндра. Распределение пара производится самою же машиною — например с помощью следующего остроумного механизма (рис. 210). Пар из парового котла поступает по трубке *b* в п а р о в у ю к о р о б к у *A*, которая сообщается 1) двумя каналами с п а р о в ы м ц и л и н д р о м *B*, 2) с выемкой в стенке цилиндра, имеющей выход наружу (на рисунке буквою *a* обозначено отверстие выводной трубки). Чтобы впускать пар попеременно в обе части цилиндра, служит так называемый з о л о т н и к (*c*), имеющий вид крышки или коробочки без дна и представленный отдельно на рис. 211; перемещаемый вперед и обратно стержнем *d*, золотник открывает пару

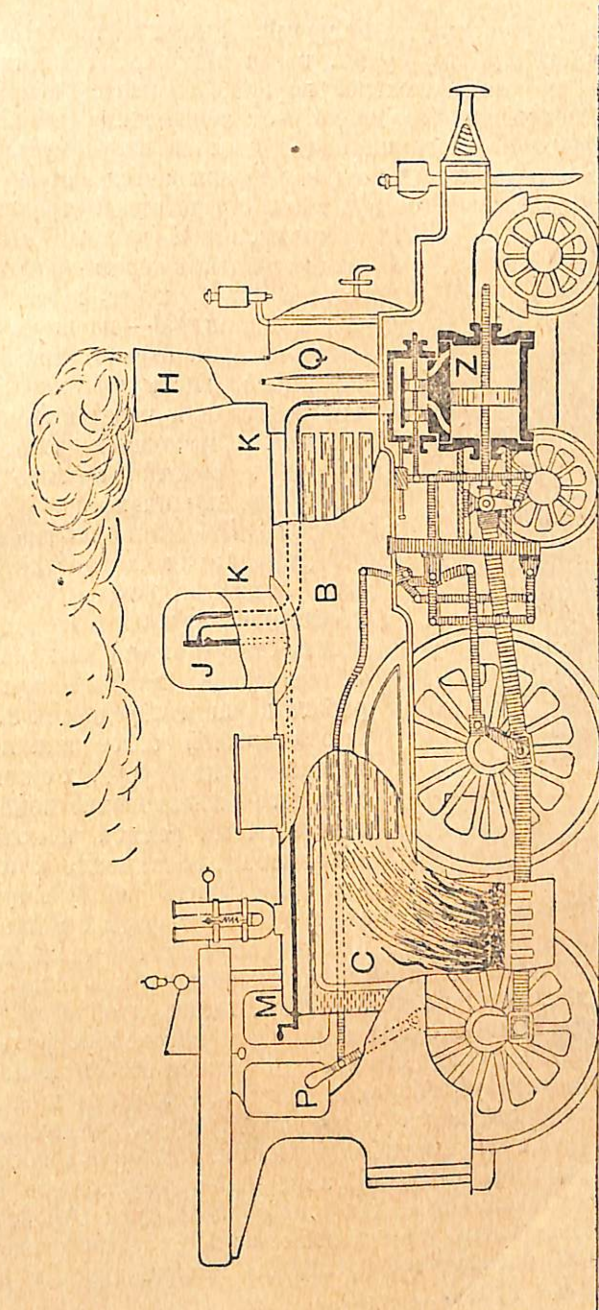


Рис. 212. Паровоз. *B* — паровой котел, *C* — топка, *J* — паровой колпак (сухопарник), *KK* — паровпускная труба, *Z* — паровой цилиндр, *Q* — паровыпускная труба, *H* — дымовая труба.

вход то в один из каналов, то в другой. Рис. 210 представляет расположение частей в то время, когда пар входит в нижнюю часть цилиндра, и, следовательно, поршень движется вверх (по направлению стрелки): в это время «отработавший» и охладившийся пар из верхней части цилиндра идет по верхнему каналу под золотник и оттуда чрез выход *a* выбрасывается наружу (ход работающего и отработавшего пара также представлен стрелками).

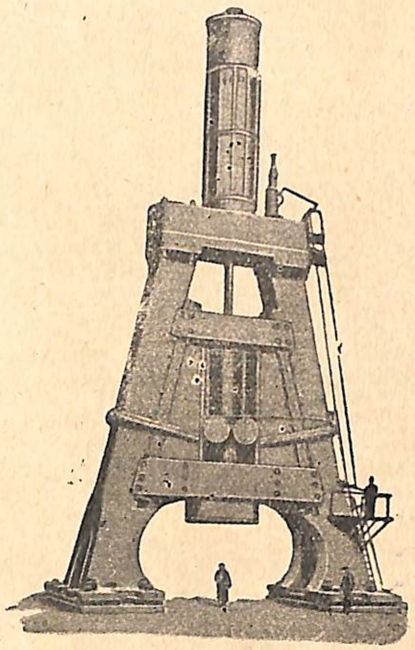


Рис. 213. Паровой молот.

В положении II (рис. 210, II) мы видим золотник переместившимся: теперь пар входит в верхнюю часть цилиндра — поршень движется вниз, а отработавший пар из нижней части выталкивается под золотник и через выход *a* — наружу. Перемещение золотника вперед и обратно производится самою же машиною.

204. Не останавливаясь более ни на каких частностях, укажем лишь на главные виды, в которых является паровая машина, смотря по ее назначению. В заводской паровой машине работа поршня передается системою стержней более или менее массивному колесу, м а х о в и к у, а от него—обыкновенно помощью передаточных ремней и колес—механизмам, назначение которых преобразовывать работу в ту или иную полезную форму. В п а р о в о з е (локомотиве) (рис. 212) работа поршня передается так называемым ведущим колесам, стоящим на рельсах, вследствие чего работа, главным образом, расходуется на передвижение самой машины и вагонов по рельсам. В виду назначения паровоза, его части делаются вообще меньших размеров и легче, чем у заводских машин, а надлежащее производство работы достигается более сильным давлением пара. В п а р о х о д е р о л ь ведущих колес играют или колеса с лопастями по окружности (как бы веслами), или, чаще, пароходный винт (*A* рис. 144), помещающийся под кормою (около руля *B*). Винтовая поверхность последнего (обыкновенно из нескольких лопастей) производит то, что он, вращаясь, как бы ввинчивается в воду, толкая вперед самое судно.

Применение пара в качестве двигателя далеко не ограничивается поименованными выше машинами. Рис. 213 изображает для примера огромный п а р о в о й м о л о т находящийся на одном

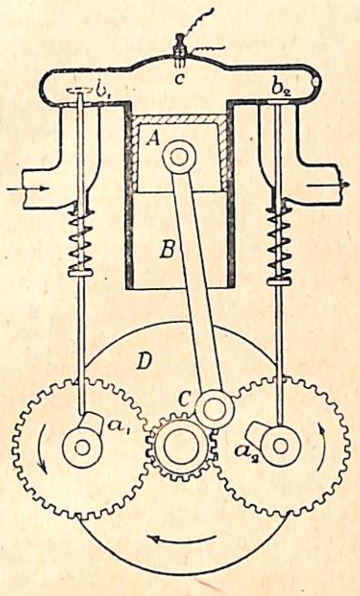


Рис. 214. Схема двигателя внутреннего сгорания.

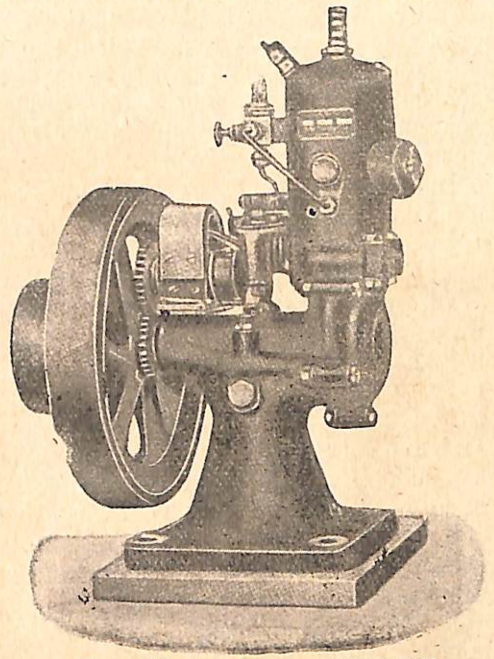


Рис. 215. Двигатель внутреннего сгорания.

из северо-американских железных заводов. Приподнимаемая паром и падающая масса собственно молота весит 125 тонн (около 7500 пуд.) [1]).

[1]) Описанная выше паровая машина с цилиндром и поршнем—не единственный тепловой двигатель практики. Особенное значение в последнее время приобрели турбинные паровые машины и бензиновые двигатели (бензиновые моторы), отличающиеся большею силою при данных размерах, более экономным расходом топлива и другими выгодными качествами. П а р о в а я «т у р б и н а» (§ 124, рис. 143) —механизм, насаженный прямо на главный вал машин и приводимый во вращение паром высокого давления (в некоторых турбинах струя пара действует на колесо с многочисленными лопатками); здесь нет качательных движений, которые могут стать очень вредными при большой быстроте. Бензинные двигатели (д в и г а т е л и в н у т р е н н е г о с г о р а н и я) (рис. 214 и 215) действуют вспышками (взрывами) смеси бензинных паров с воздухом: этими взрывами приводится в движение поршень в цилиндре. Применимость бензинных двигателей к аэропланам и управляемым аэростатам (дирижаблям), между прочим, сильно двинуло вперед дело воздухоплавания.

*

III. Мощность двигателей.

205. В предыдущей главе мы рассматривали работу независимо от времени, в течение которого она совершается. Но паровой или иной двигатель, смотря по размерам и устройству, может доставлять нам в одно и то же время работу очень различной величины. Огромные машины современных океанских пароходов производят ежечасно столько килограмметров работы, сколько обыкновенный паровоз не произведет и в течение суток, а небольшая паровая машина, вращающая в мастерской несколько токарных станков, — даже непрерывно работая целый год. Поэтому, чтобы судить о той или иной применимости двигателя, необходимо знать, сколько работы он может доставить в какое-нибудь определенное время. Смотря по числу килограмметров работы, производимой двигателем в единицу времени, именно в секунду, говорят, что он имеет ту или иную рабочую «мощность». При этом в машинной технике ныне принимают за единицу мощность двигателя, производящего в секунду почти ровно 100 *кгм* работы (точнее 102 *кгм*), так называемый киловатт. Как показывает самое название, киловатт есть тысяча ваттов, причем ватт (или, по другому выговору, уатт) обозначает мощность, при которой в секунду доставляется $^1/_{10}$ (точнее 0,102) *кгм* работы. При оценке мощности паровых машин употребляется еще другая единица, основанная на сравнении мощности машин и рабочей лошади. Именно мощность двигателя, производящего в секунду 75 *кгм* (почти точно 15 пудофутов) работы, называется лошадиною силою или, лучше, паровой лошадью. Итак, круглым счетом, 1 киловатт $= 1^1/_3$ паров. лошади (= 20 пудофут. в секунду).

Пусть груз в 1 тонну (1000 *кг*) был поднят машиною на 45 метров в течение полуминуты. Вся затраченная на поднятие работа в 45000 *кгм* была доставлена двигателем в 30 секунд; это отвечает 1500 *кгм* в секунду, т.-е. мощности около $\frac{1500}{100} =$ 15 киловаттов, или $\frac{1500}{75} = 20$ паровых лошадей. Мощность ж.-д. паровозов — от нескольких сот до нескольких тысяч паровых лошадей, а мощность огромных паровых машин океанских пароходов доходит до нескольких десятков тысяч.

Положим еще, что водопад низвергает по 450 $м^3$ воды в минуту с высоты 10 *м* (около 5 саж.). Какова рабочая мощ-

ность водопада? Ответ: 450 $м^3$ воды весят 450 тонн, т.-е. 450000 *кг*. Работа в минуту $= 450000 \times 10 = 4500000$ *кгм*, а в секунду 75000 *кгм*. Следовательно, мощность водопада приблизительно = 750 киловаттам = 1000 паровым лошадям. Мощность знаменитого Ниагарского водопада в С. Америке по приблизительной оценке достигает 7 миллионов паровых лошадей, а еще более мощного водопада «Виктория» на р. Замбези — 35 миллионов.

В киловаттах или паровых лошадях может быть, таким образом, выражена мощность не только парового, но и всякого иного двигателя, например, рабочего животного, падающей воды, ветра и пр. [1]). Вот еще примеры. Определим мощность ветра, движущего вагон по рельсам (§ 132, пример 2), предположив, что путь в 100 *м* проходится вагоном в 20 сек. Работа в секунду 6000 : 20 = 300 *кгм*. Разделив на 75, найдем мощность, соответствующую 4 паровым лошадям, или 3 киловаттам.

Хотя и довольно условно, можно составить себе некоторое понятие и о мощности удара пушечного ядра (§ 132, пример 3). Положим, что разрушительное действие удара длится две секунды. Тогда работа в секунду будет 6400000 : 2 = 3200000 *кгм*, что равнозначно мощности двигателя огромного океанского парохода.

Возьмем еще следующий любопытный случай. Деятельность нашего организма также связана с большею или меньшею быстротою превращения его внутренней (химической) энергии в те или иные формы. При быстром беге, например, мы в каждую секунду расходуем гораздо больше энергии на передвижение и производство теплоты, чем при обыкновенной ходьбе. Положим, человек весом в 5 пуд., сильно спеша, сбегает по лестнице на высоту 60 ф. (примерно высота 5 этажа) в течение 20 секунд; легко рассчитать, что в каждую секунду он совершает 15 пудофутов работы, что соответствует мощности одной паровой

[1]) Выражение «лошадиная сила» — одно из тех, которые очень часто приводят к недоразумениям. В действительности оно вовсе не обозначает «силы», потому что под таковою нельзя понимать тягу или давление; оно не обозначает и «работы» самой по себе, потому что, например, сказать «75 *кгм* работы», без указания времени, в течение которого работа была произведена, значит — ничего не сказать о мощности двигателя (эта работа может быть произведена в секунду, в час или даже в год). «Лошадиная сила», или паровая лошадь, есть мера быстроты производства работы. Поскольку мы отличаем выражение «метр» (единица протяжения) «от метра в секунду» (единица скорости), постольку «килограмметр» (работа) отличается от «килограмметра в секунду» (быстрота работы, рабочая мощность). Надо еще заметить, что мощность в одну паровую лошадь значительно превышает мощность средней рабочей лошади.

лошади... [1]). При сильном напряжении мышц, например, в виду угрожающей опасности, организм человека и животных может в течение короткого времени совершать работу с быстротою во много раз больше обычной (которая, например, для рабочего принимается в $^1/_{12}$ или $^1/_{10}$ паровой лошади); следующий затем «упадок сил» — явный признак того, что израсходованная энергия не успевает пополняться преобразованием имеющихся в организме запасов.

IV. Рассеяние энергии.

206. Мы уже знаем, что каждая израсходованная на производство работы единица теплоты (большая калория) доставляет 427 *кгм* работы. Так как можно определить, сколько килограммов топлива потребляет машина, например, ежечасно и, кроме того, сколько тепловых единиц доставляется сжиганием каждого килограмма топлива, то, казалось бы, отсюда простым вычислением может быть найдена и рабочая мощность машины. Дело, однако, сильно усложняется тем, что в действительности *далеко не вся теплота, доставляемая горючим материалом, расходуется на работу.* Значительная часть теплоты передается от топки окружающим менее нагретым телам и теряется непроизводительно. Самая возможность преобразования теплоты в работу предполагает переход теплоты от более нагретого тела к менее нагретому. Представим себе все тела нагретыми до сколь угодно высокой, но одинаковой температуры: теплота не будет переходить от одного к другому, и никаких тепловых действий мы не получим — не получим и работы. Если же температура тел различна, то тотчас начинается переход теплоты от более нагретых тел к менее нагретым — пока температуры не станут одинаковыми; при этом только и происходят так называемые тепловые изменения или «тепловые явления»: нагревание одних тел и охлаждение других, что может сопровождаться изменением их объема, переходом из одного состояния в другое и пр., а также преобразованием части теплоты в видимую работу (припомним хотя бы работу расширения нагреваемого воздуха, § 185).

[1]) Каждый, обладающий здоровым сердцем, может сам проделать над собой подобный опыт.

Кстати, мощность работы человеческого сердца при нормальных условиях — около 0,2 *кгм* в сек., или около 17.000 *кгм* в сутки. Так как 17 *кг* несколько больше пуда, а 1000 *м* немного меньше версты, то выходит, что работа сердца в течение суток равнозначна работе поднятия 1 пуда на 1 версту.

В паровой машине телом более высокой температуры является очаг, более низкой — окружающий воздух. Теплота переходит от первого ко второму, и на своем пути, именно при расширении пара в паровом цилиндре, частью исчезает, преобразовываясь в соответственное количество работы. Большая же часть теплоты, та именно, которая передается воздуху, оказывается для целей работы потерянною. Научными исследованиями доказано, что в работу может превращаться тем большая доля теплоты, чем выше первоначальная температура работающего тела (водяного пара, воздуха и т. п.) и чем ниже его окончательная температура. Как повышение первой, так и понижение второй, конечно, имеют свои практические границы, а потому и «полезное действие» машины, преобразовывающей теплоту в работу, ограничено некоторым пределом. Современные паровые машины, при всем их замечательном совершенстве в частностях, далеко не достигают и этого предела. Можно считать, что наиболее экономно работающие большие паровые машины поршневого типа преобразовывают в работу около 15% всей теплоты, развиваемой в очаге топливом. Причина этого заключается в неизбежных огромных потерях теплоты всеми нагретыми (выше окружающей температуры) частями машины через непосредственную передачу окружающим телам и путем лучеиспускания. Невыносимая жара в помещениях для машинных котлов наглядно свидетельствует об утраченных тепловых запасах, — утраченных именно вследствие неизменного свойства теплоты переходить от тел более высокой температуры к телам с более низкой температурой. Этот переход может быть более или менее замедлен, но никакими известными нам способами не может быть устранен вполне [1]).

Из машин, доставляющих механическую энергию на счет других ее видов, тепловая (в частности паровая) машина представляет тот исключительный интерес, что она преобразовывает теплоту в полезную для нас работу. Но теплота рассеяна всюду: огромные ее количества находятся в атмосфере, в океанах, в земле. Казалось бы, вот где неисчерпаемый и даровой источник работы для всех практических целей; стоит лишь построить

[1]) Выше (§ 196) было упомянуто, что все количество теплоты, развивающейся при сжигании 1 *кг* угля, равнозначно работе около 3400000 *кгм* = 3400 × 1000 *кгм*, т.-е. работе поднятия 200 пудов на 1 версту. Если принять, что только 15% всей теплоты преобразовывается машиною в работу, то на счет сгорания 1 *кг* угля все же можно было бы поднять 30 пуд. на версту или 300 пуд. на высоту 50 саж. В лучших бензиновых двигателях использование тепловой энергии горючего материала достигает 35%.

машину, которая преобразовывала бы в механическую работу не энергию, доставляемую топливом, а имеющуюся всюду теплоту... Но это оказывается столь же невозможным, как создание энергии из ничего. Превращение окружающей нас всюду теплоты в работу связано именно с условиями, которые на земле неосуществимы. Только тогда, когда теплота переходит от тела, имеющего более высокую температуру, к телу более холодному, она может преобразовываться в механическую работу, — но и то лишь частью: другая часть ее, идущая именно на нагревание более холодного тела, рассеивается непроизводительно. В паровой машине это лишь выражается в особенно резкой, бьющей в глаза форме. Чтобы можно было использовать запасы теплоты в окружающих нас телах, нужно было бы иметь огромное тело более низкой температуры, по отношению к которому первые играли бы роль котла паровой машины. Но и тогда часть теплоты, сообщаясь этому более холодному телу, терялась бы непроизводительно.

Надо вообще заметить, что безвозвратное рассеяние в пространстве тепловой энергии, в которую в конце концов переходят все другие формы, — характерная черта всей совокупности явлений нашего мира.

V. Обзор.

207. Приспособления, служащие для передачи и преобразования энергии, называются машинами. Примерами простейших машин служат: рычаг, блоки неподвижный и подвижный, системы блоков (полиспасты), ворот, наклонная плоскость, винт, клин, зубчатые колеса.

Новой работы, новой энергии машины не создают. Получая выигрыш в силе, мы теряем в пройденном пути, следовательно, в скорости или, наоборот, за счет потери в силе можем получить выигрыш в величине перемещения и скорости. Но при этом машина не передает и не может передать без потери всей воспринятой ею энергии. Часть работы — иногда довольно значительная — тратится бесполезно на неизбежные сопротивления — на трение частей и сопротивление воздуха, при чем возникающая на счет этой затраты тепловая энергия непроизводительно рассеивается в окружающем пространстве. Построить машину, которая двигалась бы без всякой затраты энергии извне («самодвижущуюся машину — perpetuum mobile»), невозможно.

В паровых машинах, паровых турбинах и двигателях внутреннего сгорания мы имеем примеры превращения тепловой

энергии в механическую. При этом далеко не вся теплота, доставляемая горючим материалом, расходуется на работу. Значительная часть теплоты передается от топки окружающим менее нагретым телам и теряется непроизводительно.

Безвозвратное рассеяние в пространстве тепловой энергии, в которую в конце концов переходят все другие формы,—характерная черта всей совокупности явлений нашего мира.

Рабочая мощность двигателя измеряется числом килограммметров работы, производимой двигателем в секунду. Принятые единицы мощности: 1) ватт — $^1/_{10}$ (точнее 0,102) килограмметра в секунду; 1000 ваттов составляют киловатт; 2) лошадиная сила или паровая лошадь — 75 килограмметров в секунду; 1 киловатт = $1^1/_3$ паровой лошади.

ГЛАВА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ.

Звук; его происхождение и распространение.

I. Как происходит звук.

208. Как разнообразны звуки! С трудом перечтешь все их названия: тон, шум, стук, шорох, шелест, скрип, свист и т. п. Отчего тело начинает звучать — это лучше всего подметить тогда, когда оно издает определенный тон, т.-е. такой звук, про который мы говорим: «выше» (тоньше) или «ниже» (толще). Так звучат, например, струна, фортепианный камертон, колокол. Каждый знает, что струна звучит только тогда, когда она достаточно натянута. Чтобы видеть, в чем здесь

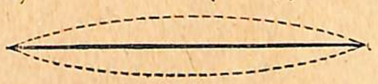


Рис. 216.

дело, привяжем за концы слабо натянутую веревку, оттянем ее за средину в сторону и отпустим: веревка начнет качаться, колебаться (рис. 216). Если мы станем все туже и туже натягивать веревку, колебания ее будут становиться все быстрее и быстрее. Очень туго натянутая веревка начинает уже *звучать*. Но достаточно туго натянуть веревку трудно; возьмем вместо нее шнурок или крепкую нитку. Будучи достаточно туго натянуты, они звучат, как струны. И чем туже мы их натянем, тем получаемый тон выше. Итак, чтобы веревка или нитка звучали, нужно, чтобы они качались из стороны в сторону, колебались и притом достаточно быстро, достаточно часто. Тон тем выше

чем быстрее или чаще колебания. Струны делаются из очень прочного материала—из кишек или стальной проволоки; их можно сильно натягивать и, таким образом, получать не только низкие, но и высокие тона. Если посмотреть на звучащую-дрожащую струну, при хорошем освещении, то средняя часть ее кажется как бы утолщенной (рис. 217). Легкая щепочка или соломинка, наложенная концом на средину звучащей струны (гитары, балалайки), сбрасывается ею.



Рис. 217.

Теперь возьмем знакомый всем **камертон** — стальную вилку, дающую при ударе по концам определенный тон, по которому настраивают музыкальные инструменты. Когда камертон звучит, ветви его колеблются так быстро, что это не видно. Но зажмем в тиски конец достаточно длинного стального прутка и ударим по его свободному концу: пруток начнет колебаться. Чем глубже мы зажмем пруток в тиски, т.-е. чем он будет короче, тем чаще станут его колебания. Укоротим его достаточно, и пруток уже начнет звучать — тем более высоким тоном, чем он короче. Конечно, и ножки звучащего камертона колеблются, дрожат, как ветви кухонных щипцов, если по ним ударить — только гораздо быстрее. Если одной из ножек прикоснуться к спичке, положенной концами на два пальца, то спичка сбрасывается. Сильно отскакивает от конца звучащего камертона легкая стеклянная бусина на нитке, как показывает рис. 218. Вода разбрызгивается, если коснуться ее поверхности концами звучащего камертона, и пр.

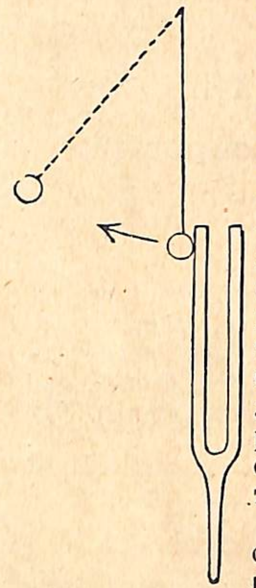


Рис. 218.

А отчего звучит колокол? После наших опытов мы, конечно, не затруднимся сказать: потому что от ударов языка упругие стенки колокола дрожат, колеблются, притом достаточно быстро. Подобно колоколу звучит и стеклянный стакан, если ударить по его краю; разница только в тоне. От звучащего стакана стеклянная бусина, повешенная на нитке, будет отскакивать, как от звучащего камертона.

Звуки нашего собственного голоса происходят от колебательного движения особого мышечного органа («голосовых связок»), помещающихся в гортани. Жужжание мухи, комара и других насекомых во время полета зависит от быстрого колебания их крылышек.

Когда пилят дерево, толчки зубьев пилы производят сотрясение древесных волокон; отсюда — глухой тон, который бывает тем выше, чем быстрее движется пила. По сходной причине слышится тон, когда водят ногтем или кончиком проволоки по гребню или палочке. Если взять кусок папки, оклеенной мелкобороздчатой материей (бывают такие книжные переплеты) и водить ногтем поперек бороздок, то очень заметно, что тон повышается по мере того, как двигают ногтем все быстрее и быстрее.

Звуки разных тонов, хотя и неясные, слышатся также при ударе по разным предметам, — по доскам, по ящикам, бревнам и пр. Если несколько деревянных брусков разной величины ронять на пол, то различие в тонах слышится очень явственно. Особенно хорошо выделяются тона, если они следуют друг за другом в некоторой правильной «музыкальной» последовательности. На рис. 219 изображен небольшой музыкальный инструмент из деревянных брусков разной величины, на котором некоторые научиваются недурно наигрывать простенькие пьески.

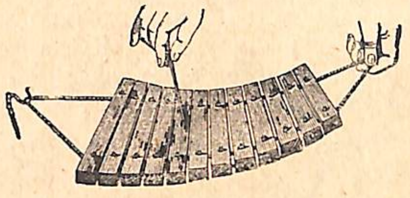


Рис. 219.

209. Посмотрим теперь, когда и как звучат **воздух**, газы. Если косо дуть по краю склянки, трубки, наперстка, бородки ключа и пр. так, чтобы воздушная струя ударялась о противоположный край (рис. 220), то получаются тона разной высоты: воздух внутри склянки приходит в состояние более или менее быстрых колебаний. Тона, издаваемые органными трубами, завывания ветра и т. п. зависят от той же причины. Свисток паровоза или парохода звучит вследствие быстрого дрожания в нем горячего водяного пара. При всяких звуках, издаваемых воздухом, он всегда так или иначе приводит в сотрясение. Примеры: хлопанье ладошами, щелканье языком, бичом, выстрел из ружья или пушки и т. п. Не подберется ли еще случаев? Тона, издаваемые воздухом, будут, как и в случае твердых тел, выше или ниже, смотря по размерам той массы воздуха, которая приводится в состояние дрожания: можно, например, по желанию повышать или понижать высоту тона, даваемого склянкой при косвенном вдувании, если вливать в нее больше или меньше воды. При достаточном внимании и слухе нетрудно «настроить» таким путем воздушные массы в четырех склянках (рис. 221) на тона «мажорного» аккорда (например: до, ми, соль, до). Это в упрощенном виде



Рис. 220.

органные трубы, разные тона которых тоже зависят от различных размеров воздушных масс, приводимых дутьем в колебательное движение.

Остается еще добавить, что издавать звук могут и *жидкости*. Случается, что вода при вытекании из крана приходит в состояние быстрых колебаний и звучит.

210. Но не только тона, а и всякие другие звуки происходят вследствие более или менее быстрых дрожаний различных тел или их частей. Вздрагивание предметов, например, хорошо заметно при сильном ударе. Когда тела трутся друг о друга, неровности одного сталкиваются с неровностями другого, как бы соударяются: происходит более или менее длящееся сотрясение частей, которое мы слышим как шорох и т. д. Разница между всеми подобными звуками и «тонами» зависит лишь от различия в колебательных движениях, порождающих звуки.



Рис. 221. В склянки налито столько воды, что при дутье получаются тона мажорного аккорда.

Дрожание звучащего тела, когда оно достаточно сильно, может быть замечено и осязанием. Например, если коснуться концом звучащего камертона поверхности нашей кожи (или лучше кончика языка), то чувствуется особенное щекотание. Положив руку на грудь и произведя сильный звук голосом, можно ясно ощущать дрожание груди. Глухой, всунув руку в звучащий колокол, ощущает только путем осязания то *дрожание воздуха*, которое воспринимается здоровым слуховым органом, как тон.

Звук происходит при достаточно быстром колебательном движении тела или его частей.

211. Вопросы. 1) Попробуйте перечесть слова — как существительные, так и глаголы — которыми обозначаются различные звуки. Сколько их наберется?

2) Взяв в руку столовую вилку, ударьте, держа ее ребром к столу, одним из концов о его край и тотчас поднесите к уху: вы услышите явственный тон разной высоты, смотря по вилке.

3) Воткните в сосновую дощечку несколько одинаковой толщины булавок и отрежьте от них ножницами верхушки так, чтобы остались прутки разной длины. При задевании за них ногтем они будут издавать разные тона—тем выше, чем пруток

короче. Почему можно думать, хотя этого и не видно, что чем короче пруток, тем чаще его колебания?

4) Обратите внимание на (глуховатый) тон, который слышится при распиливании дерева: он тем выше, чем быстрее ход пилы. Если представится случай, прислушайтесь к тону круглой заводской пилы или барабана хлебной молотилки: по высоте тона можно прямо заключить о быстроте хода машины.

5) Ударяйте молотком слегка или палкой в упор по разным деревянным ящикам или бревнам. Вы услышите тона разной высоты. Различия в высоте особенно обращают на себя внимание, если тона случайно подберутся в правильной музыкальной последовательности (как тона музыкального инструмента).

6) Заставьте воздух в склянке звучать дутьем по ее горлышку (как на рис. 220), заметьте тон и влейте в склянку воды: тон повысится. Попробуйте подстроить его тон под который-нибудь из средних тонов рояля. Сделайте интересный опыт с четырьмя склянками (рис. 221). Обратите внимание на то, что самый материал склянок, если по ним ударять, звучит совсем другими тонами.

II. Отчего бывают тона разной высоты.

212. Главный признак движения, называемого колебательным, состоит в том, что тело движется вперед и обратно, повторяя один взмах за другим. Мы имеем очень обыкновенный пример такого движения в *качаниях маятника* часов. Легко заметить, что качания маятника тем чаще, чем он короче, и наоборот. В качестве простого маятника возьмем нитку с привязанным к ней грузиком, лучше всего шариком. Если длину нашего маятника, считая от точки привеса до центра шарика, взять в $99^1/_2$ *см*, то число его качаний в минуту будет очень близко к 60. Время, в течение которого простой маятник такой длины (немного меньше 1 *м*) делает каждое свое колебание от одного крайнего положения до другого, есть секунда. В течение этого времени звучащее тело успевает сделать много колебаний. Например, тона, употребляемые в музыке, соответствуют десяткам, сотням и даже тысячам колебаний в секунду. Но как счесть столь быстрые колебания? Если дело касается нескольких сотен в секунду, то оно вовсе уже не так хитро, как можно было бы подумать. Приставим к краю вращающегося зубчатого колеса кусок папки (рис. 222), держа его за другой конец, например, рукою. Вследствие ударов, производимых зубцами, и упругости папки,

она будет делать колебательные движения: от каждого удара папка сделает взмах вперед и обратно. Что же оказывается? Пока толчки недостаточно часто следуют один за другим, слышатся отдельные быстрые удары (треск). Но с увеличением быстроты вращения колеса послышится тон, сперва низкий, басовой, а потом все выше и выше. Положим, мы достигли определенного тона и поддерживаем его в течение некоторого времени. Если мы сосчитаем, сколько оборотов сделало зубчатое колесо за это время, и если знаем число его зубцов, то легко найдем, сколько колебаний в секунду сделала папка. Пусть, например, колесо с 80-ю зубцами, после того, как требуемый тон был достигнут, сделало в 20 секунд 100 оборотов. Общее число толчков, полученных папковой пластинкой за это время, 80 × × 1000 = 8000; следовательно, на каждую секунду приходится 400 колебаний [1]). Заметьте себе, что здесь за о д н о колебание считается перемещение папки в п е р е д и о б р а т н о, следовательно, не так, как при счете качаний маятника. Звуковые колебания вообще принято считать в физике «двойными» или «полными», а не одиночными: одиночных выйдет вдвое больше.

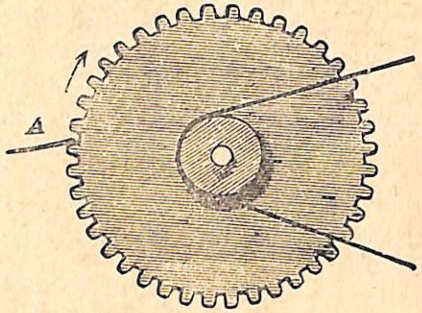


Рис. 222.

Этим и разными другими путями найдено, что нужно н е м е н е е 20 к о л е б а н и й в с е к у н д у, чтобы наше ухо начало воспринимать что-то новое, слитное, как тон самый низкий, какой только доступен нашему уху [2]). Служащий для настраивания музыкальных инструментов камертон (он соответствует первому дискантовому ля клавиатуры рояля) делает уже 435 колебаний в секунду. Из тонов, употребляемых в музыке, самый низкий соответствует 30 колебаниям в сек., а самый высокий— 4000 (числа взяты округленные). Во избежание недоразумений не надо забывать, что счет ведется полными или двойными колебаниями. Если считать одиночными, то, например, число колебаний

[1]) Для счета числа оборотов колеса к его оси присоединяется простого устройства механический «счетчик» со стрелкою.

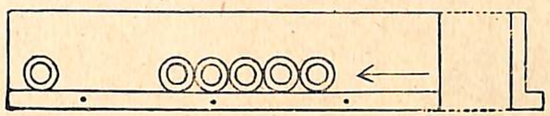
[2]) Если бы кто-нибудь, путем упражнения, ухитрился достичь того, чтобы сделать ладонью 20 или несколько более полных взмахов (т.-е. 40 одиночных) в 1 секунду, то, без сомнения, он привлек бы низким басовым тоном — и довольно громким — многочисленных слушателей.

образцового («нормального») камертона будет 870; оно иногда и приводится, без необходимой оговорки, в руководствах музыки.

Итак, в ы с о т а т о н а неразрывно связана с тем, как быстро или часто колеблется звучащее тело: каждому тону определенной высоты соответствует определенное число колебаний в секунду.

III. Распространение звуковых колебаний в твердых телах, воздухе и воде.

213. Чтобы колебания тела стали для нас «звуком», они так или иначе должны дойти до нашего уха. Ведь все, происходящее вне нас, мы воспринимаем нашими органами чувств, нашим мозгом, чрез посредство нервов, которые возбуждаются или раздражаются внешними действиями. Как доходят до нас звуковые колебания? Обратим внимание на то, что звучащее тело непременно соприкасается с другим — во всяком случае с воздухом. Но все тела более или менее податливы и упруги (§§ 19 и 33). Поэтому их части тоже начинают колебаться, дрожать, и это колебательное движение передается все дальше и дальше. Как именно—лучше всего понятно из следующего опыта:


Рис. 223.

положим в ряд несколько фарфоровых или костяных (занавесочных) колечек так, чтобы они касались друг друга (рис. 223). Отодвинув одно в сторону, ударим этим кольцом по соседнему— в направлении всего ряда. Отскочит только последнее в ряду (свободное) кольцо, а промежуточные останутся почти на месте. Что же произошло? Кольцо, по которому ударили, несколько сжалось и, быстро расправившись вследствие упругости, передало толчок следующему, с которым происходит то же самое, и т. д; последнее кольцо, будучи свободным, отскакивает. Не случалось ли вам видеть, как в длинном ряду вагонов передается чрез посредство упругих «буферов» толчок паровоза? Если последний вагон поезда не сцеплен с предыдущим, то он отскочит и пойдет себе по рельсам дальше. Вот то же и с кольцами. Благодаря упругости тел, всякие толчки, всякие сотрясения могут быть переданы более или менее далеко б е з т о г о, ч т о б ы п р о м е ж у т о ч н ы е ч а с т и о к а з а л и с ь с д в и н у т ы м и с м е с т а. Подобным образом передаются материалом тел, от слоя к слою, и мелкие «звуковые» сотрясения или колебания,

при чем частицы тела, сделав свое дело, остаются на своих прежних местах.

Вот несколько наблюдений над передачею звуковых колебаний твердыми телами. На один конец доски (длинного стола) кладут мужские карманные часы или прикасаются к ней рукояткой звучащего камертона, а к другому плотно прикладывают ухо: звук слышится гораздо лучше, чем через воздух на том же расстоянии. Звуковые колебания хорошо передаются также по туго натянутому шнурку игрушечного «телефона» [1]), а по натянутой железной проволоке, концы которой прикреплены к двум деревянным тонкостенным ящикам, открытым с противоположных сторон, можно отчетливо передавать звуки — даже переговариваться — на расстоянии нескольких сот шагов.

214. В воздухе звуковые сотрясения передаются также от слоя к слою, во все стороны от колеблющегося тела, при чем промежуточные слои воздуха, передав сотрясение, остаются на своих прежних местах. Опять таки некоторые наблюдения делают такой способ передачи почти очевидным. Кому не случалось замечать, что притворенная (не запертая) дверь хлопает при совершенно спокойном воздухе, если быстро двинуть (хлопнуть) другой притворенной дверью даже на значительном расстоянии? Если бы при этом воздух перебрасывался от одной двери к другой, то мы, конечно, заметили бы в помещении (например, коридоре) хотя бы кратковременный сквозной ветер, потому что движение передается другой двери очень быстро, чего, однако, нет. При выстреле из пушки оконные стекла вздрагивают на расстоянии нескольких верст; но совершенно невероятно, чтобы воздух, который был приведен в движение толчком пороховых газов, мог быть переброшен на столь большое расстояние и в такое короткое время. Передача толчка в обоих случаях очень просто объясняется сжатием и последующим расширением воздушных слоев, вплоть до того, который соприкасается с притворенною дверью или оконным стеклом. Не напоминает ли это вам опять передачи толчка буферами в ряду вагонов? С помощью двух ящиков, из которых у одного дно короткое, а у другого из туго-натянутой тонкой перепонки (рис. 224), хорошо наблюдается такая передача толчка воздухом. И если между ящиками поставить зажженный огарок, то при ударе по картону пламя лишь вздрагивает; конечно, не то было бы с ним даже при очень кратковременном «ветре» (дуновении): тогда оно явно отклонилось бы в сторону движением воздуха.

[1]) Кстати сказать, имеющего очень мало общего с настоящим телефоном.

Достаточно сильные звуки заставляют дрожать соприкасающиеся с воздухом твердые тела, даже на значительном расстоянии; это бывает, например, при пушечном выстреле, барабанном бое, звуках оркестра, громкой игре на рояле. Звуковые сотрясения даже могут «раскачать» тело настолько, что оно само начнет длительно звучать. Это именно бывает, когда оно само способно звучать тем же тоном, как тело, служащее источником звука, т.-е. делать в секунду столько же колебаний, как это последнее: тогда раз начавшиеся колебания будут усиливаться поспевающими «во-время» воздушными толчками. Ведь сравнительно слабыми толчками можно раскачать тяжело нагруженную качель или язык большого колокола — если давать толчок за толчком не как попало, а в такт с собственными колебаниями качели или языка. Нальем в маленькую аптечную склянку столько воды, чтобы, при косвенном вдувании воздуха (как на рис. 220), получался тон одинаковой высоты с тоном большого стеклянного колпака, например, от воздушного насоса, склянки с отрезанным дном или даже вазочки от варенья. Если тон склянки правильно подобран и громок, то стеклянный предмет на него хорошо «отзовется». При хорошем слухе и сильном голосе того же можно достичь, чисто взяв ту ноту, которую издает стеклянный предмет [1]).

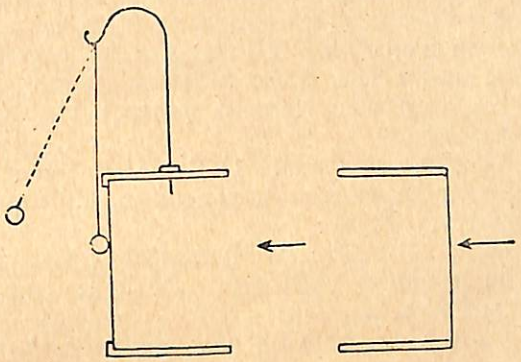


Рис. 224.

Обычно звуковые колебания передаются нашему уху воздухом: от него зависит то, что вся окружающая нас природа является для нас «наполненной звуками». А если бы не было воздуха? — спросите вы. Тогда нельзя было бы и слышать звука на расстоянии от колеблющегося предмета, если не сообщаться с ним, например, каким-нибудь твердым телом, так, чтобы колебания могли дойти до нашего уха. Если под колокол воздушного насоса поставить звонок с заводным механизмом (бу-

[1]) Подобные явления отзывчивости или резонанса в области колебательных движений очень распространены; впоследствии мы еще встретимся с ними при совсем иных обстоятельствах.

дильник) и, пустив его в ход, выкачать из-под колокола воздух, то звук становится едва слышным. (Почему он не прекращается совершенно? Нет ли других путей для передачи звука от звонка наружному воздуху?) По словам некоторых воздухоплавателей, звук их голоса и пистолетного выстрела значительно ослабевал на больших высотах.

215. *В воде* звуковые сотрясения распространяются явственно на далекие расстояния. Если, например, погрузиться с головою в воду при открытых ушах, то стук двух камешков друг о друга под водою, производимый на расстоянии сотни шагов и более, слышится так отчетливо, как будто бы происходил в самых ушах.

Вообще наблюдения показывают, что *звук распространяется в твердых и жидких телах гораздо лучше, чем в воздухе*: на одном и том же расстоянии мы услышим звук более громким, когда звуковые колебания достигают до нас чрез посредство твердого тела или воды вместо воздуха.

216. Вопросы. 1) Сделайте 1-й опыт (рис. 223), взяв вместо колец несколько положенных на гладкий стол вплотную друг к другу монет.

2) Вложите неочиненный конец карандаша в ухо, а по очиненному проведите пальцем: вы услышите очень громкий звук.

3) Прикоснитесь пальцами к разным предметам поблизости от оркестра или рояля при громкой игре: если у вас достаточно тонкое осязание, вы почувствуете что-то в роде щекотки. Если держать концами пальцев большую картонную коробку или детский воздушный шар, то можно как бы «слышать» осязанием сотрясения воздуха. (Таково именно восприятие звука глухими.)

4) Если вам случится держать рукоятку открытого зонтика во время барабанного боя, обратите внимание, как она дрожит в руке. Если случится читать газету на пароходе, заметьте, как она дрожит в пальцах при пароходных свистках.

5) Качните чуть-чуть висячую лампу, присмотритесь к «частоте» ее качаний, потом сообщайте ей дутьем изо рта ряд толчков в такт с ее собственными качаниями: хорошо применившись, можно увеличить размахи тяжелой лампы и даже раскачать ее, если она была сперва остановлена.

6) Нажмите клавишу рояля, отвечающую одному из тонов, которые вы можете чисто и громко взять голосом; освободив таким образом струну (от наложенного на нее так называемого демфера) и удерживая клавишу нажатой, пропойте тон, соответ-

ствующий избранной ноте: струна отчетливо повторит его. Не случалось ли вам замечать, как некоторые предметы в комнате, например, стеклянные розетки подсвечника «отзываются» на сильные звуки?

7) Летом, купаясь, сделайте опыт над передачею звуковых колебаний водою: вы будете удивлены, как отчетливо слышен звук камешков.

8) Приложите ухо плотно к торцу бревна и пусть кто-нибудь поскребет ногтем по противоположному торцу: вы услышите звук, которого уже не слышно прямо через воздух (а если и слышно, то опять-таки благодаря отчасти бревну). Не замечали ли вы, как сильно передается гудение телеграфных проволок, колеблемых ветром, по столбам до самого низа?

9) Если представится случай, обратите внимание, что стук по чугунной водопроводной трубе (например, при починках) передается материалом ее стенок в столь отдаленные части здания, где он помимо труб совсем не был бы слышен.

IV. Звуковые волны.

217. Чтобы точно представить себе *способ распространения звуковых колебаний*, т.-е. как именно движутся частицы передающей звук «среды», не надо забывать, что звучащее тело движется *вперед и обратно* и следовательно сообщает толчки воздуху не в одну только сторону. Пусть несколько мальчиков станут в ряд так, чтобы лицо одного было обращено к затылку другого, и пусть каждый крепко ухватится за плечи стоящего впереди (рис. 225). Если теперь сильно встряхивать вперед и обратно (колебать) стоящего сзади, то колебательное движение последовательно распространится вдоль всего ряда, до последнего мальчика. Сходным образом стало бы распространяться колебательное движение вдоль ряда вагонов железнодорожного поезда,

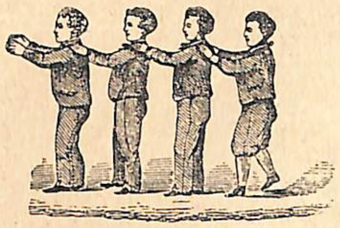


Рис. 225.

если бы паровоз давал толчки то вперед, то обратно. Поставим зажженную свечу на расстоянии аршина от большого вертикального куска картона, обращенного плоскостью в сторону пламени. Делая картоном резкие (отрывистые) движения вперед и обратно— в сторону пламени и от него, — мы заметим, что пламя повторяет эти движения.

Вот точно так же, когда распространяется звук, каждая частица тела повторяет с некоторым запозданием колебательное движение предыдущей.

218. Кто не видел, как бегут по воде волны? От камня, упавшего в пруд или лужу, они расходятся в стороны все увеличивающимися кругами (рис. 226). Бросьте на них пробку: она сделает несколько качаний вверх и вниз, но окажется на своем прежнем месте, лишь только волны пройдут мимо. Точно так же качается вверх и вниз лодка, под которой пробегают волны от прошедшего мимо парохода. (Мы здесь намеренно берем такие случаи, где распространение волн не осложняется действием ветра.) Значит, самые частицы воды лишь колеблются около своего среднего положения; движение каждой частицы передается, конечно, с некоторым запозданием, следующей, которая его повторяет. Если прикрепить к стене конец веревки и, удерживая ее на весу, колебать другой ее конец, то по веревке тоже пробежит ряд «волн». Здесь уже совершенно ясно, что отдельные части веревки остаются на своих прежних местах и лишь совершают колебательные движения, передающиеся от одной части к другой. Вот еще подходящий пример. Всякий видел, как «волнуется» ржаное поле, когда по нему проносится ветер. Откуда эти волны? Если мы обратим внимание на каждый отдельный колос, сидящий на упругой соломинке, то поймем, что его движение от толчка должно быть колебательным. Каждый последующий — по направлению ветра — колос начинает свое колебание, конечно, несколько позже предыдущего.

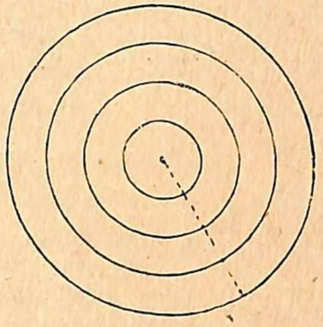


Рис. 226.

Не правда ли, передача колебательного движения звучащего тела воздухом или другими телами имеет много сходного с только-что рассмотренными случаями? Вот почему и говорят, например, про воздух, что он вокруг звучащего тела совершает волнообразное движение — что по нему распространяются звуковые волны. По воде волны расходятся кругами от той точки, где они возникли; в воздухе волны, так как они распространяются во все стороны, должны быть в подобном случае шаровидными. Если бы мы могли видеть движение воздуха в комнате, в которой одновременно издается много звуков, например, говорят несколько человек, то нам представилась бы весьма пестрая и красивая картина. Нечто подобное мы видим на поверхности воды, в которую высыпают кучу щебня.

Как воспринимаются нами звуковые волны? Где они становятся для нас звуком? Каждый, конечно, скажет, что мы слышим ухом; но наружное ухо — ушная раковина — только место входа звуковых волн во «внутреннее ухо», аппарат довольно сложного устройства, благодаря которому звуковые колебания передаются слуховому нерву; последний передает раздражение особому участку головного мозга, где оно уже воспринимается как звук. Что можно слышать и помимо наружного уха, если звуковые колебания достигают внутреннего через костные части головы, показывают следующие наблюдения. Возьмите карандаш в зубы, заткните уши и водите очиненным концом карандаша по бумаге: вы услышите громкий звук [1]). Охватив голову бечевкой и держа ее концы вместе рукою, водите другой рукою вдоль шнурка: послышится очень сильный звук, в роде грома. Привяжите кухонные щипцы (или лучше серебряную столовую ложку) к сложенной вдвое нитке, концы которой возьмите в зубы; заткнув уши, раскачайте щипцы так, чтобы они ударялись, например, о ножку стола и звучали. Звук, который тогда слышится, напоминает собою звон большого церковного колокола. Конечно, в этих наблюдениях мы имеем случаи распространения звуковых колебаний по твердым телам, в дополнение к тем, которые описаны выше.

V. Скорость распространения звуковых колебаний.

219. При распространении водяных волн каждая водяная частица повторяет движение предыдущей с некоторым запозданием; поэтому распространение волны требует времени. Но то же можно сказать о всяком волнообразном движении, между прочим и о том, при посредстве которого колебания звучащего тела передаются нашему уху. И в самом деле, звуковые колебания распространяются в воздухе не мгновенно; мы слышим звук несколько позже действительного момента возникновения звуковых колебаний. Это легко заметить, когда источник звука достаточно удален от нас, и когда мы можем зрением точно определить момент, в который звук начался или окончился. (Запаздывание звука от удара топором или молотком по твердому предмету, от удара по колоколу, от свистка паровоза, от ружейного или пушечного выстрела и т. п.) Понятно, как можно найти и скорость распространения зву-

[1]) Таким же точно путем — через костные части черепа — можно слышать очень громкие и отчетливые тона, если, крепко зажав зубами булавку, острием наружу, задевать за него ногтем. Тона будут разной высоты, смотря по длине выставляющейся из зубов части булавки.

ковых колебаний в воздухе: стоит лишь точно определить, насколько именно запаздывает звук выстрела, произведенного на определенном от нас расстоянии, против момента появления дыма или света. Подобными опытами найдено, что звуковые волны пробегают в воздухе 340 метров около 160 саж. в секунду. Это составляет круглым счетом в е р с т у в т р и с е к у н д ы. Если тотчас после молнии будем считать время по секундной стрелке часов до появления грома (начало которого в действительности одновременно с молнией) и разделим число секунд на три, то узнаем приблизительно расстояние от нас грозового облака в верстах.

С к о р о с т ь р а с п р о с т р а н е н и я з в у к о в ы х к о л е б а н и й в р а з н ы х т е л а х в е с ь м а р а з л и ч н а. Вообще говоря, в твердых и жидких телах скорость звука больше, чем в воздухе. Например, вода распространяет звуковые колебания в 4 с лишком раза быстрее, железо почти в 15, а стекло в 17 раз. (Разные газы тоже отличаются между собою в этом отношении.) Если ударить молотком по одному концу достаточно длинной чугунной трубы, то у другого конца ее можно слышать д в а з в у к а: первый — вследствие распространения звуковых колебаний через стены трубы, второй — заметно запаздывающий — через воздух.

Скорость звука несколько зависит от «температуры» той с р е д ы, в которой распространяются звуковые волны, а также от других обстоятельств, изменяющих свойства этой среды.

220. Вопросы. 1) Попробуйте определить скорость распространения звуковых колебаний в воздухе следующим образом. Заметьте по часам с секундной стрелкой в тихую погоду, сколько времени прошло после появления дыма (огня) при отдаленном ружейном выстреле или клубов «пара» из паровозного свистка до момента, когда послышится звук. Потом измерьте шагами расстояние, считая шаг за аршин, и найдите, сколько саженей и метров в секунду пробегают звуковые волны.

2) Если вы находитесь в виду колокольни, на которой производятся м е р н ы е у д а р ы к о л о к о л а, то можете для той же цели поступить иначе. Отойдите настолько, чтобы звук, дошедший до вас от какого-нибудь удара, слышался в момент, когда вы уже в и д и т е с л е д у ю щ и й у д а р. Сосчитав по часам с секундной стрелкой, сколько времени длится десяток качаний языка, вы узнаете время каждого качания — а это и есть время, в течение которого звук доходит до вас. Остается только измерить расстояние до колокольни [1].

[1]) Конечно, такие определения мало точны и годятся лишь на первый случай; но они все же гораздо убедительнее хотя бы и самых точных данных, вычитанных только из книг. Кроме того, мы уже говорили, что всякое измерение начинают с грубо-приблизительной оценки.

3) Выстрел ленинградской полуденной пушки при благоприятных условиях слышен на петергофском берегу. В этот момент хорошие часы, поставленные накануне по пушке в Ленинграде, показывают одну минуту первого. Какому приблизительно расстоянию это отвечает?

4) Свист отдаленного паровоза слышится еще некоторое время после того, как свисток закрыт, — когда последние выброшенные клубы пара уже успели подняться довольно высоко. Объяснить это.

VI. Отражение звуковых волн. Эхо.

221. Всякий много раз слышал эхо и все же не удержится, чтобы не крикнуть раз или два, очутившись во время прогулки против отдаленной опушки леса или большой стены. Так занимательно и странно слышать точный отзвук своего собственного голоса! Детям — тем кажется, что им из лесу отвечает «невидимка». Явление, надо полагать, небезынтересно и для собаки, которая, случается, долго и настойчиво отвечает на эхо собственного лая... Много чудесного можно тут себе вообразить — была бы только фантазия — и не стать ближе к пониманию эхо. Но как просто объясняется оно, если уже знаешь, что от источника звука распространяются во все стороны воздушные сотрясения, как бы толчки. Толчки эти опушкою леса или стеною отбрасываются назад и через некоторое время доходят до нас. Подобное этому отбрасывание в о д я н ы х в о л н удается иногда хорошо наблюдать у берега, когда именно бегущие по тихой воде волны ударяются о плоское отвесное место. Если слабо натянув на весу веревку, сильно ударить по ней у одного конца, то бегущая по веревке волна отбрасывается от другого конца, бежит обратно, снова отбрасывается и т. д., пробегая таким образом по веревке несколько раз. Такие случаи отбрасывания движений называются в физике о т р а ж е н и е м движений. На языке физики, например, и отскакивание ударившегося о стенку мячика будет «отражением» мячика от стены; отражением будет и отбрасывание лучей солнечного света от зеркала, которым вы хотите навести на определенное место «зайчик» — забава, столь излюбленная школьниками... (Заметьте, что самый «зайчик» — светлое пятно на потолке или стене — в физике не назовут отражением, как это постоянно можно слышать в обиходной речи.) Вот в этом же смысле — в смысле отбрасывания — говорят, что и звуковые волны «отбрасываются» от опушки леса. Но о т р а ж е н н ы е з в у к о в ы е в о л н ы в о с п р и н и м а ю т с я н а-

шим слухом ничуть не иначе, чем такие, которые идут прямо от звучащего предмета. Поэтому нам и кажется, что «источник» звука находится именно в том направлении, по которому отраженные звуковые волны достигают нашего уха.

Звуковые волны, идущие от источника звука, конечно, могут отразиться от нескольких стен, находящихся от нас в различных расстояниях, и дойти до нашего уха. Мы услышим многократное эхо, часто наблюдаемое среди городских построек, но особенно эффектное в горах. Явление еще может усложняться и разнообразиться тем, что звуковые волны отражаются от поверхности воды и от тех водяных частичек, из которых состоят облака. Многократное отражение звука от облаков — одна из причин длительности грома и тех громовых раскатов, которые обыкновенно повторяются еще долго после того, как блеснула молния.

Почему, крикнув в большой пустой зале, мы слышим протяжный отзвук? Конечно, вследствие многократного отражения звука от противоположных стен. Стены обыкновенно не настолько удалены одна от другой, чтобы можно было слышать ряд отдельных отзвуков: последовательные эхо сливаются в один протяжный звук.

222. Вопросы. 1) Через сколько секунд мы услышим эхо выстрела, произведенного в полуверсте от опушки леса или стены? А если мы крикнем на расстоянии 120 шагов? (Для скорости звука принять или ½ версты, или 160 саж. в сек., смотря по удобству расчета; шаг считать за аршин.) Если расстояние от стены 34 метра (при скорости в 340 м в сек.)?

2) Иногда эхо отчетливо повторяет целое слово и даже несколько слов, но обыкновенно лишь короткие звуки. Отчего эта удивляющая некоторых разница? Не сводится ли она к различиям в расстоянии от источника звука до отражающей плоскости?

3) Эхо дает возможность, пожалуй, проще всего определить приблизительно скорость звуковых волн в воздухе. Став против стены на таком расстоянии (чем больше, тем лучше), на котором еще хорошо слышно эхо производимого звука (громкой хлопушки, выстрела), заметьте промежуток времени до момента, когда послышится эхо, измерьте расстояние и возьмите его вдвойне.

4) Не имеет ли известная поговорка: «слышит звон, да не знает, где он» — какой-нибудь связи с отражением звуковых волн?

VII. Обзор и добавления.

223. Звук происходит при достаточно быстром колебательном движении тела или его частей. Если тело издает «тон», т.-е. длящийся звук определенной «высоты», то число его колебаний в секунду можно сосчитать, для чего придуманы разные способы. За одно колебание звучащего тела считается качание его (или его частей) вперед и обратно. Нужно не менее 20 таких «двойных» или «полных» колебаний в секунду, чтобы наше ухо могло воспринимать их как тон. Тона, употребляемые в музыке, образуют ряд, идущий круглым счетом от 30 до 4000 колебаний в секунду.

Звуковые колебания распространяются во всех твердых, жидких и газообразных телах, благодаря их упругости. Твердые и жидкие тела передают звук лучше, чем воздух. Но обыкновенно звуковые колебания передаются нашему уху воздухом. Частицы материала, в котором распространяется звук, колеблются: каждая из них повторяет с некоторым запозданием колебательное движение предыдущей. Так именно распространяются всем знакомые водяные волны; поэтому и говорят, что от звучащего тела распространяются во все стороны звуковые волны [1]). В воздухе эти волны пробегают 340 метров в секунду, в твердых и жидких телах они распространяются не только лучше, но и быстрее.

Звуковые волны отбрасываются назад — отражаются — от опушки леса, от облаков и во многих других случаях, подобно тому, как водяные волны отражаются от берега. Когда звуковые волны, отразившись, доходят до нашего уха, мы слышим «эхо», т.-е. звук, который кажется нам идущим оттуда, откуда идут отраженные волны.

224. Из главы о звуке мы можем сделать следующий очень важный вывод. Нашим органом слуха мы воспринимаем как «звук» нечто извне к нам идущее; но это нечто воспринимается и нашим органом осязания — чувствующими нервами кожи — как род щекотки; а если бы мы могли видеть это нечто, то оно наверное представилось бы глазу колебательным движением той при изучении явлений окружающего нас мира очень важной

[1]) Нельзя, однако, не обратить внимания на следующую разницу. Водяные частицы колеблются вверх и вниз, т.-е. поперек того направления (горизонтального), по которому бегут волны, а частицы материала, передающего звуковую волну,—вдоль распространения волн; в этом отношении звуковые волны ближе подходят к волнам хлебного поля, чем к водяным.

материальной среды, с которой соприкасается наше ухо [1]). Итак, следует отличать наши ощущения от той внешней причины, которая их вызывает в нас при посредстве органов чувств. Если вам причинят боль ударом палки, то вы наверное скажете, что боль — одно, а движение палки другое, и что боль — действие, произведенное на вас движением палки. Вот то же и в случае ощущения звука. Но, конечно, не только звука. Соприкосновение с нагретым телом производит в нас ощущение «тепла». Но если бы наше зрение было достаточно остро, мы, без сомнения, видели бы то чрезвычайно быстрое беспорядочное движение молекул тела, которое через посредство наших кожных нервов воспринимается нами как теплота.

Мы говорим: «звук» распространяется, «звук» отражается. Если бы мы захотели всегда и везде быть точными в выражениях, то, конечно, должны были бы говорить, что распространяются и отражаются «звуковые волны».

Любопытно спросить: куда деваются исчезнувшие звуки? Воздушная звуковая волна несет с собой некоторый запас энергии, и эта энергия, конечно, не может исчезнуть бесследно. Она превращается в энергию беспорядочного молекулярного движения, в теплоту, которая рассеивается во все стороны. Вы, положим, говорите с кем-нибудь, затрачивая на это некоторое количество энергии вашего организма и сообщая ее воздуху в виде энергии звуковых волн. Пусть ваши слова произвели на слушателя то именно впечатление, ради которого они сказаны: ваша цель достигнута. Но с чисто физической стороны вы произвели только одно: некоторое количество теплоты в воздухе и окружающих предметах, теплоты, которая рассеялась неуловимым для нас образом... Быть может, узнав это, кто-нибудь из вас подумает: стоило ли говорить, чтобы только нагреть воздух на какую-нибудь ничтожнейшую долю градуса? Но не надо упускать из виду, что разбор явления с физической стороны есть разбор с определенной точки зрения, разбор односторонний; обойтись без него нельзя, но он далеко не охватывает всего, что происходит; это прекрасно видно как раз на нашем примере. Некоторые склонны упрекать физику в том, что она, стремясь сводить явление природы к движению, умаляет красоту ее явлений и разочаровывает; но говорящие так обнаруживают незнание и непонимание задач самой физики. Они точно забывают, что физика никому не навязывает своих учений, а лишь обращается с призывом: смотри,

[1]) Современными усовершенствованными способами фотографирования можно запечатлеть это движение на фотографической пластинке.

изучай и суди. Они, повидимому, не знают, какое множество новых явлений поразительной, ни с чем несравнимой красоты открыто именно физическими исследованиями. Не говорим уже о высшей красоте понимания и созерцания: вероятно, она таким людям недоступна!

ГЛАВА ДВАДЦАТАЯ.

Свет и его распространение.

I. Источники света. Свечение собственным и отраженным светом.

225. На вопрос, откуда берется свет, конечно, каждый скажет: от солнца, от огня. Но вот раскалившаяся в углях кочерга уже светит в темноте, хотя она сама по себе не огонь; луна светит ночью, а никто не назовет ее огнем. Надо в этом вопросе несколько разобраться. Прежде всего припомним, что именно светит в пламени свечи: светят раскаленные частицы угля, те самые, которые в остывшем виде образуют копоть, сажу. Если усилить приток воздуха к пламени, то угольные частички сгорают, не успев сильно накалиться, пламя становится синеватым, слабо светящим, а жар его усиливается. Если в такое пламя ввести негорючее тело в мелко раздробленном виде, то частички его накаливаются гораздо сильнее, чем горючие угольные, а пламя начинает сильно светить. В керосино-калильных «горелках» сетка состоит именно из очень размельченного негорючего материала и накаливается пламенем, которое (вследствие усиленного притока воздуха «тяги») имеет очень высокую температуру, но само по себе светит слабо. Яркий свет магния тоже происходит оттого, что при его горении, дающем очень сильный жар, образуется негорючая материя, накаливающаяся добела.

После этих примеров вспомним опять о раскаленной кочерге, которая тоже светит, и может светить очень сильно, если раскалится добела. Мы видим, что на вопрос, откуда берется свет, теперь ответ будет иной. Главное дело не в огне: всякое достаточно раскаленное тело светит, а пламя доставляет только тот жар, который поддерживает тело раскаленным. Наше дневное светило — тоже раскаленное тело; температура его поверхности (6—7 тысяч градусов Ц) гораздо выше всякой искусственно достигнутой; но солнце не есть нечто горящее,

не огонь, как думали в древности, да и теперь думают многие незнающие. Все наши искусственные источники света, хотя по силе уступают солнцу, имеют с ним нечто общее: все это раскаленные в большей или меньшей степени тела; подобно солнцу они не только светят, но и греют [1]).

226. Однако, не надо думать, что только раскаленные тела могут светить. В летние темные ночи светит, например, насекомое, называемое «светляком» или «Ивановым червячком»: конечно, тело его не раскалено. Известно еще много явлений свечения, происходящих не от того, что тело раскалено, а от разных других причин. Сюда относится, например, свечение древесных гнилушек, свечение моря: то и другое производится мелкими самосветящимися организмами; некоторые части тела рыб, живущих на больших морских глубинах, тоже сами собою светятся. Есть некоторые искусственно приготовленные вещества, которые долго светятся в темноте, если пробыли некоторое время на сильном свету. Слабое световое мерцание можно заметить при раскалывании в темноте кусков сахару. Упомянем, наконец, свет северных сияний. Давно было известно, что фосфор — очень легко воспламеняющееся вещество, в темноте светится. Отсюда все подобные случаи «холодного» свечения часто называют «фосфорическим» светом; но это вовсе не значит, что причина холодного света — та же, что и фосфора (медленное окисление — соединение с кислородом воздуха).

227. Но пойдем дальше. Кто же не знает, что луна светит светом, заимствованным от солнца? Это значит, что она отбрасывает или «отражает» солнечный свет (припомним из § 221 правильный смысл слова «отражение»). Следовательно, источником света может быть и тело, посылающее отраженный свет. Разнообразными наблюдениями можно убедиться, что все окружающие нас тела более или менее отражают от себя свет. Держите против окна на пути солнечных лучей лист белой бумаги так, чтобы отброшенный бумагою свет падал в соседний темный угол комнаты: угол осветится. Или, приняв дневной свет на страницу книги, наклоняйте ее все больше и больше по отношению к противоположной — слабее освещенной странице: часть ее станет заметно светлее. (То же можно проделать с ламповым светом.) Носящиеся в воздухе пылинки светятся — как бы искрятся — в попавшем на них солнечном свету; благодаря отброшенному ими свету, мы и видим в воздухе светлую полосу.

[1]) Таковы, конечно, и звезды (но не планеты), эти бесчисленные солнца, которые только вследствие огромного расстояния от нас кажутся светлыми точками и посылают на землю едва уловимое количество тепла.

Светлые полосы в туманном или задымленном воздухе происходят по той же причине: солнечный или иной сильный свет отражается от мелких частичек воды или тех твердых и жидких частичек, из которых состоит дым. Если в затемненной комнате направить полосу солнечного света на черную доску (прямо или с помощью зеркала), то последняя в освещенном месте покажется *белою* сравнительно с соседними ее частями. Если отраженный зеркалом узкий пучок солнечного света направить на потолок, получить «зайчик», то вторично отброшенным (от потолка) светом осветится значительная часть комнаты и т. д. Вот, *благодаря свету, отражаемому телами, мы и видим те из них («темные»), которые не светят сами по себе.* Если бы луна и планеты не освещались солнцем, то их нельзя было бы видеть; в мировом пространстве, кроме звезд, есть и громадные темные тела, невидимые нами. Мы видим только ту часть лунной поверхности, на которую попадают солнечные лучи; поэтому луна и является для нас в столь различных видах или «фазах», смотря по тому, какая часть светлой поверхности луны бывает видна с земли. Но около времени новолуния, когда луна имеет вид узкого серпа, можно слабо видеть и ее остальную часть (рис. 227), следовательно, на нее попадает и ею отражается посторонний свет: это именно те же солнечные лучи, но отраженные сперва поверхностью земли.



Рис. 227.

Итак, благодаря отраженному свету всякое темное само по себе тело становится временно «источником света».

Атмосферный воздух тоже в большей или меньшей степени отражает свет, и это — причина, почему мы видим над собою небо: не будь у земли атмосферы, пространство над нами казалось бы совершенно черным. Посмотрите на воображаемый пейзаж лунной поверхности (рис. 228): как он по освещению отличен от привычных нам земных. И это потому, что на луне атмосфера — если она вообще там есть — чрезвычайно разрежена и почти не отражает света. Здесь вы, пожалуй, скажете: ведь это *воображаемый* пейзаж — мало ли что можно вообразить! Но *научное воображение* не есть пустое фантазирование: оно строит свои «картины» на достаточных основаниях.

Вследствие отражения солнечного света от окружающих нас тел, от облаков, от воздуха, глаз наш *постоянно* воз-

буждается, куда бы мы ни взглянули, и нам кажется, что весь дневной мир как бы наполнен или залит светом. Этот рассеянный дневной свет проникает сквозь щели в самые глухие помещения и позволяет видеть в них предметы, когда глаз несколько привыкнет к кажущейся «темноте».

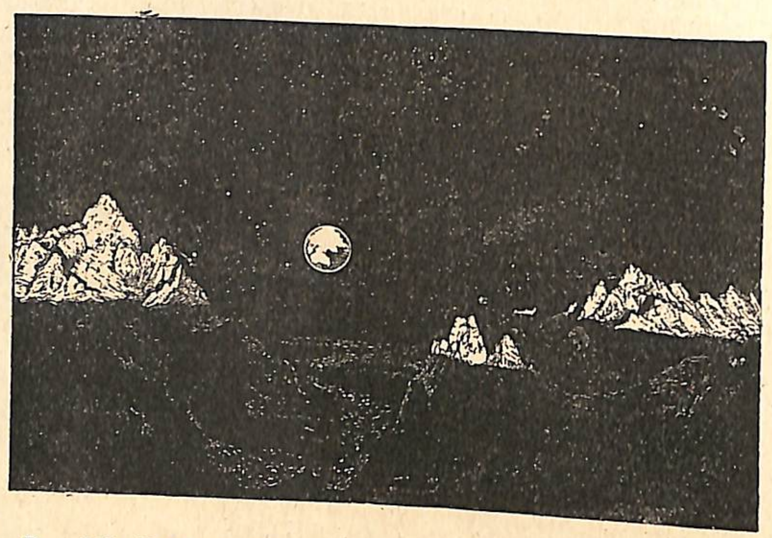


Рис. 228. Воображаемая картина местности на поверхности луны перед наступлением или окончанием там ночи. Вершины гор освещены солнцем; свет и тень резко разграничены. На совершенно черном небе — большой светлый диск нашей земли.

В нашей обычной обстановке встретится вообще лишь мало случаев, когда можно быть уверенным, что мы находимся в совершенной темноте, т.-е. в полном отсутствии света. При этом условии зрение невозможно; но некоторые животные, например, кошки, ночные птицы и пр., еще хорошо видят при том слабом освещении, которое для нас уже является почти полной темнотой [1]).

[1]) Мой близкий родственник, много путешествовавший по Сибири, рассказывал мне, что в очень темную зимнюю ночь бывалый ямщик, приблизив лицо к снежной поверхности, может разглядеть следы санных полозьев. Это свидетельствует не только о замечательной восприимчивости глаза к свету, но и о том, что в такую ночь свет звездного неба сквозь тучи все еще достигает земли.

II. Прямолинейное распространение света. Световые лучи.

228. Свет от источника распространяется во все стороны по прямым линиям. Обратите внимание на светлые полосы, которые вы видите в воздухе комнаты благодаря освещенным пылинкам, когда солнечный свет попадает в окно: они идут прямо, точно по туго-натянутой нитке. Или взгляните на светлые следы на полу или потолке темной ком-

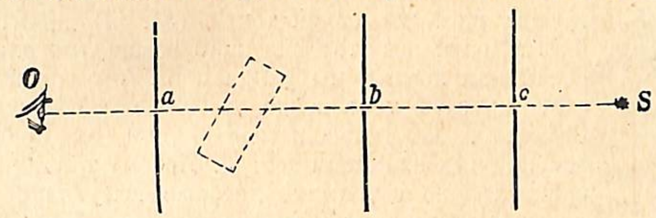


Рис. 229.

наты, в которую из соседней попадает сквозь щель свет лампы, они тоже будто проведены по линейке. А если вы захотите увидеть какой-нибудь отдаленный светящий предмет, далеко стоящий фонарь, звезду и т. п. сквозь несколько маленьких отверстий, проколотых, например, в кусках папки, то как вы постараетесь расположить отверстия? Конечно, так, чтобы все они были на одной прямой линии, идущей от светлой точки к глазу (рис. 229): иначе вы ее не увидите.

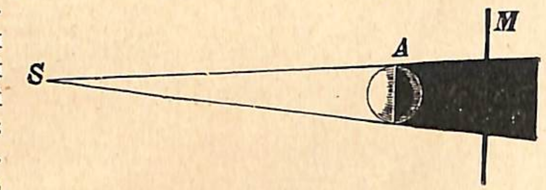


Рис. 230.

Когда свет падает на непрозрачный предмет и за ним образуется тень, как вы очертите ее границы? Для простоты представьте себе, что свет идет из одной точки S (рис. 230); конечно, придется провести от нее прямые линии так, чтобы они только что коснулись к краям предмета, и продолжить эти прямые: внутрь очерченной границы вовсе не попадет света от точки S. В действительности мы имеем дело не со светящими точками, а со светящими телами, посылающими свет из множества точек; поэтому тень за непрозрачным предметом не резко ограничена, а окружена «полутенями». Эти полутени бывают у́же или шире, смотря по тому, каких размеров источник света, и на каком рас-

стоянии находится от него предмет. Поставьте зажженную свечу в расстоянии около аршина от белой стены и между ними карандаш; обратите внимание на серединную «полную тень» карандаша и на его «полутени»; заметьте, как с приближением карандаша к пламени, вместе с увеличением тени на стене, расширяются и полутеневые полоски. Но и переход от тени к полутеням и к свету не бывает резок. На рис. 230 черта M — кусок картона, помещенный поперек теневого пространства за непрозрачным шаром A; на картоне мы получили бы резко ограниченный темный кружок, потому что свет, предполагается, идет из одной точки (S). В действительности, если бы тот же шар освещался пламенем свечи или лампы, мы увидали бы против него на стене круглую тень вроде изображенной на рис. 231. Заметьте, как расплывчаты тени от предметов, освещаемых пламенем костра. Почему такая разница сравнительно с тенями, которые получились бы от освещения их пламенем свечи?



Рис. 231. Тень и полутени.

Вы, конечно, слышали о солнечных и лунных «затмениях»: первое бывает, когда луна становится как раз между солнцем и землею, на которую тогда и падает тень от луны, а второе — когда земной шар загораживает собою свет солнца, идущий к луне, и когда, следовательно, на луну падает земная тень. Астрономы в точности предвидят размеры и форму теней луны и земли и их полутеней, основываясь на прямолинейности распространения света в небесном пространстве.

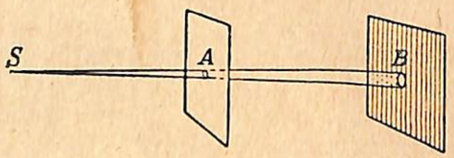


Рис. 232.

Вот еще одно сюда же относящееся наблюдение из окружающей нас обстановки. В темном коридоре, на стену которого падает свет через замочную скважину, иногда можно видеть опрокинутые (перевернутые) изображения хорошо освещенных предметов. Нетрудно объяснить себе их происхождение опять-таки прямолинейностью распространения света. Положим, что свет от точки S проходит через маленькое круглое отверстие A и потом попадает на стенку[1]): здесь, конечно, получится светлый кружок B (рис. 232). Если свет идет от пламени свечи (рис. 233), то *каждая* светящаяся частичка угля

[1]) Такую стенку, служащую при опытах для задерживания света, для получения на ней светлых следов и изображений, мы дальше будем называть «щитом» (вместо обычного иностранного слова «экран»).

в пламени дает на щите такой кружочек; от более ярких частей пламени кружочки будут светлее, от менее ярких — темнее; все они вместе и обрисуют очертание пламени. Из рисунка 233 сразу видно, что оно выйдет перевернутым, обратным, потому что верхние части пламени дадут кружочки внизу, а нижние — вверху. Если бы отверстие было не круглое, а, например, треугольное, лишь оставаясь маленьким, то произошло бы то же самое: картинка пламени вырисуется тогда множеством более или менее светлых треугольных пятнышек. Чем больше отверстие, тем больших размеров эти пятна, так что очертания изображения получаются все более расплывчатыми, пока, наконец, совсем не исчезают: остается только большое светлое пятно. Но если отверстие достаточно мало, то изображение светлого предмета нисколько не зависит от его формы. Так в солнечный летний день вы можете увидеть на затененной лесной дороге множество светлых кружков разной величины: все это — изображения солнца, происшедшие от того, что солнечный свет прошел через мелкие промежутки между листьями деревьев, — промежутки, имеющие, конечно, самую разнообразную форму.

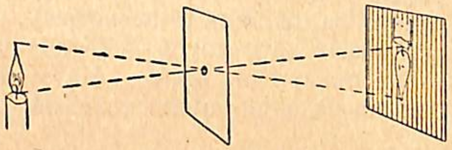


Рис. 233.

229. Мы брали примеры распространения света от *самосветящихся* предметов. Но ведь и каждая точка предмета, освещенного посторонним источником, отражая свет, посылает его в разные стороны. Этот свет также расходится по прямым линиям. Положим, мы смотрим из O на предмет AB, частью заслоненный другим ab (рис. 234), и хотим точно определить границу между теми частями предмета AB, которые нам видны, и теми, которых мы уже не можем видеть. Как мы поступим? Мы проведем — это подсказывает нам повседневная привычка — от нашего глаза прямые линии к краям заслоняющего предмета и продолжим их до встречи с AB. Но ведь это и значит, что свет идет от разных точек предмета AB

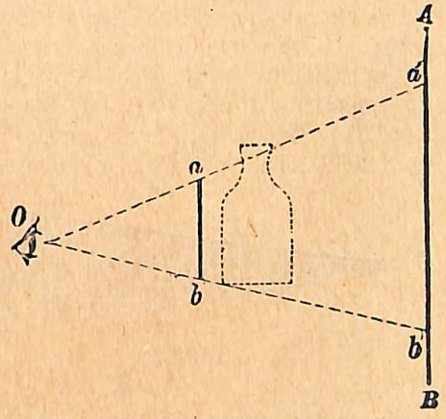


Рис. 234.

по прямым линиям. Представьте себе, что от какой-нибудь точки, лежащей между a' и b' (рис. 235), свет направился бы сперва прямолинейно к краю a, а потом загнул бы вниз так, что попал бы в глаз: тогда мы могли бы увидеть эту точку, которая теперь заслонена. Если на открытом месте стоит ряд прямых кольев, то как вы убедитесь, что все они — на одной прямой? Вы станете против одного из крайних и посмотрите вдоль остальных: если все они заслоняют друг друга — не видны за первым, то они наверное стоят на прямой линии. На этом основывается установка «вех» для проведения прямых линий на поле или лугу — «провешивания» прямых линий. Предположите опять, что свет от какого-нибудь промежуточного кола A (рис. 235) пошел бы от него по кривому пути (как показано на рисунке), обогнул бы ближайшие и достиг бы глаза: ведь тогда мы его могли бы видеть. При особых обстоятельствах, о которых мы узнаем в следующей главе, свет идет по ломаным и кривым путям, и тогда в самом деле можно видеть такие точки предметов, которые были сперва заслонены.

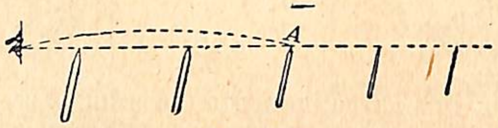


Рис. 235.

Измерение углов, о котором упоминалось, конечно, тоже предполагает прямолинейность распространения света.

230. Известно, как быстро ослабляется освещение бумаги, книжной страницы, если относить их от свечи. Это — следствие прямолинейного распространения света во все стороны от светящейся точки. Представим себе на пути света, распространяющегося от точки S, две площадки одинаковой величины (A, B), но в разных расстояниях (рис. 236): очевидно, что часть того света, которым освещается ближайшая площадка A, непременно пройдет *мимо* более отдаленной B, а потому последняя будет слабее освещена. Если пропустить свет через квадратное отверстие A (рис. 237), то на стенке, поставленной дальше за ним, прошедший через отверстие свет охватит собою уже больший квадрат B; следовательно, на площадку *той же величины*, как A, придется теперь меньше света: освещенность будет слабее, чем была бы в A. Из рис. 237 можно даже видеть, во сколько раз слабее. Если стенка II *вдвое* дальше от светящейся точки, нежели I, то квадрат B,

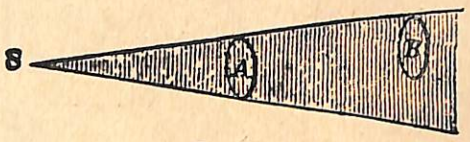


Рис. 236.

освещенный *тем же самым пучком*, как A, будет *вчетверо* больше, следовательно будет освещен *вчетверо слабее*. Это поясняется еще упрощенным рис. 238, на котором AB и CD — ребра двух квадратов, освещаемых одним и тем же пучком. Ясно, что прямая CD, находясь от S на двойном расстоянии, вдвое больше AB; но квадрат, которого ребро вдвое больше, имеет вчетверо большую площадь. Точно так же мы нашли бы, что на *тройном* расстоянии тот же самый пучок расходится по поверхности в 9 раз большей: следовательно, освещенность его уменьшается *в 9 раз*, и т. д. Конечно, этот вывод справедлив только для того случая, в котором он именно нами сделан: когда свет идет от *одной точки*. Если он идет от светящегося *тела*, т.-е. от множества точек, то он попадает на такие части освещаемого предмета, на которые не попал бы, если бы шел от одной точки; поэтому предмет будет освещен сильнее, и прежней правильности уже не будет. Однако, когда освещаемый предмет настолько удален от светящегося тела, что последнее с того места уже кажется маленьким, то можно с достаточным приближением пользоваться найденной нами правильностью. Например, самая большая планета солнечной системы, Юпитер, отстоит от солнца на расстоянии в 5 раз большем, чем земной шар: можно считать, что эта планета получает от солнца в 5×5 (5 в квадрате) или 25 раз меньше света, чем наша земля. Во сколько раз слабее освещается солнцем самая дальняя из планет, Нептун, которая находится от солнца на расстоянии в 30 раз большем, чем земля?

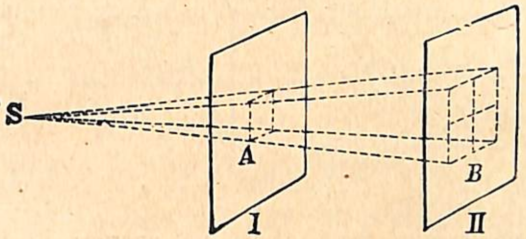


Рис. 237.

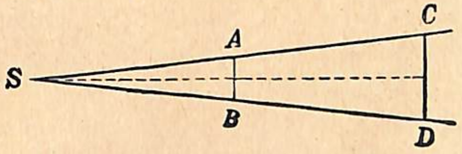


Рис. 238.

231. Что *освещенность* какой-нибудь площадки зависит и от *наклона лучей*, видно из рис. 239. Площадка ab_1, равная ab (рис. 239), но помещенная наклонно, например, к солнечным лучам, получает меньше света, чем в случае прямо (перпендикулярно) падающих лучей, потому что часть их, продолжая свой ход прямолинейно, минует площадку. Если же наклонно

поставленную площадку взять такой величины *(ac)*, чтобы она освещалась всем тем светом, как и перпендикулярная *ab*, то одинаковое количество света распространится на бо́льшую поверхность. Изменение наклона солнечных лучей к земной поверхности — одна из главных причин больших различий в нагревании ими земли в разное время дня и в разные времена года. (Разница во временах года, конечно, происходит и от различной продолжительности нагревания земли солнцем в течение дня.)

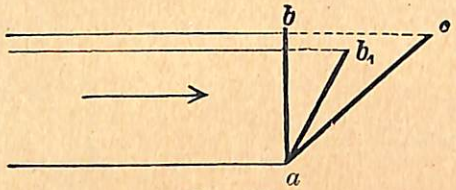


Рис. 239.

Солнце не только «светит», но и «греет». То же можно сказать и о других раскаленных источниках света. Куча раскаленных углей, костер и т. п. дают ощущение тепла уже на значительном расстоянии. От этого теплового действия мы можем чем-либо «заслонить» поверхность нашей кожи, как защищаемся зонтом от солнечного тепла; отсюда видно, что тепловое действие сообщается нашему телу не чрез посредство воздуха, который сам по себе может оставаться даже холодным (стоит лишь вспомнить ощущение жара от костра на морозном воздухе). Но мы здесь пока знакомимся, главным образом, со световыми проявлениями лучей, о тепловых действиях поговорим особо.

III. Обзор.

232. Источниками света обычно являются раскаленные в большей или меньшей степени тела. Наблюдаются, однако, часто случаи свечения, и не связанные с высокой температурой.

Тела «темные», которые не светят сами по себе, становятся видимыми благодаря отраженному от них свету. Это тоже «временные» источники света.

Дневной свет — рассеянный — результат отражения солнечного света от окружающих нас тел, от облаков, от воздуха.

Свет от источника распространяется во все стороны по прямым линиям.

Когда свет на своем пути встречает непрозрачное тело, образуются тени и полутени. Одна тень получается лишь тогда, когда источник света весьма малых размеров («светящаяся точка»), обычно тень сопровождается полутенью. Основываясь на прямолинейности распространения света, можно в точности предвидеть в каждом случае размеры и форму теней и полутеней.

Если свет от светящегося или освещенного предмета проходит через малое отверстие, то на расположенном за ним щите образуется перевернутое изображение предмета.

Освещение, производимое светом, распространяющимся от светящейся точки, зависит как от расстояния освещаемой поверхности от светящейся точки, так и от наклона лучей к поверхности.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ.

Отражение и преломление света. Световые волны.

I. Отражение света от плоского зеркала.

233. Об отражении света вообще мы уже говорили (§ 227). Теперь надо подробнее рассмотреть, как отражается свет от плоского зеркала. Зеркалом в физике называют всякую полированную («блестящую») поверхность; зеркалом будет также спокойная поверхность ртути, воды и пр. Обыкновенные наши зеркала состоят из хорошо отполированного так называемого зеркального стекла с наведенным на него сзади тонким слоем серебра [1]); свет, главным образом, и отражается от гладкой серебряной поверхности.

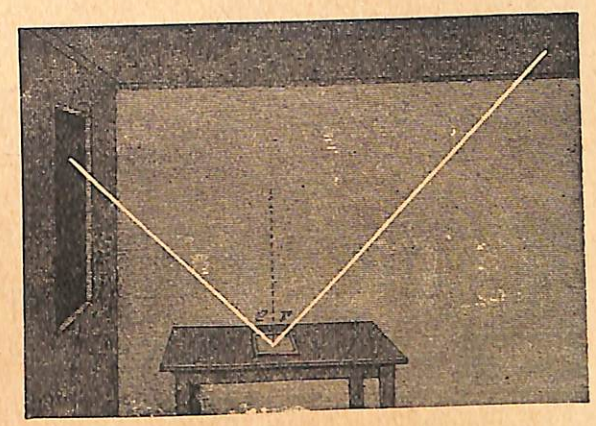


Рис. 240.

234. Если полоске солнечного света дать упасть на плоское зеркало (рис. 240), то полоска отраженного

[1]) Прежде зеркальная наводка делалась оловянная, для чего зеркальное стекло покрывали раствором олова в ртути (оловянной «амальгамой») и затем испаряли ртуть нагреванием. Оловянная наводка встречается теперь только у самых простых зеркал. Во всяком случае она никогда не состоит из ртути, как обыкновенно думают.

света — в затемненном помещении — превосходно видна: конечно, ту и другую мы видим лишь благодаря носящейся в воздухе пыли. Повертывая зеркало различнейшим образом, переводя «световой» зайчик с места на место, мы легко убедимся в замечательной простоте и правильности явления. Назовем углом падения луча угол e, составленный падающим лучом с перпендикуляром к зеркалу в точке падения, а углом отражения — угол r, составленный отброшенным отраженным лучом с тем же перпендикуляром (рис. 240). Из точнейших наблюдений выведено: что: 1) угол отражения равен углу падения, 2) лучи падающий и отраженный находятся в плоскости, перпендикулярной к зеркалу. Второе положение [1]) очень упрощает чертежи: если именно зеркало изобразить прямой чертой MN (рис. 241), то лучи: падающий SA, отраженный AB и перпендикуляр AC будут лежать в одной плоскости — в плоскости бумаги. Если задано направление падающего луча, т.-е. дан угол его наклона к перпендикуляру, то как вы с помощью линейки и циркуля (или транспортира) найдете ход отраженного? Наоборот, если падающий луч направить по BA, то по какому направлению он отразится? Как пойдет после отражения луч, упавший перпендикулярно к зеркалу?

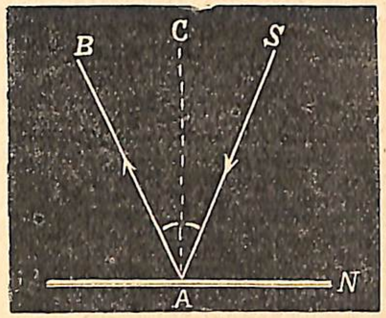


Рис. 241.

235. Направление луча после его отражения от плоского зеркала легко находится посредством следующего приема, прямо вытекающего из законов отражения. Пусть из точки S падает на зеркало MN луч SA (рис. 242). Опустив из S на зеркало перпендикуляр SB, продолжим его по ту сторону плоскости MN на расстоянии BS_1, равное BS. Если затем проведем прямую S_1AC, то углы a и b, очевидно, будут равны и, следовательно, AC представит собою отраженный луч, соответствующий падающему SA [1]). Если падающий луч будет SD, то, приложив линейку к точкам S_1 и D (как показывает рисунок), мы тотчас найдем ход отраженного луча DE.

[1]) Чтобы его понять, как следует, воткнем в доску перпендикулярно прямую палочку и возьмем две других в качестве падающего и отраженного лучей. Обе эти палочки можно приставить концами к основанию перпендикуляра очень различным образом, соблюдая условие, чтобы они образовали с перпендикуляром равные углы. Но из всевозможных положений палочек только то будет соответствовать ходу падающего и отраженного лучей, при котором одновременно к ним и перпендикулярной палочке можно будет вплотную приложить лист гладкого и плоского картона: плоскость картона будет тогда перпендикулярна к плоскости доски, изображающей зеркало.

Из чертежа видно, что все лучи, посылаемые точкой S к зеркалу, после отражения идут так, как будто бы все они выходили из одной точки, лежащей прямо против S, позади зеркальной плоскости на расстоянии BS_1, равном BS. Вот здесь глазу, смотрящему в зеркало, и будет казаться такая же точка, как та (S), которая посылает свет к зеркалу: глаз увидит в зеркале изображение точки, как следствие отражения идущих от нее лучей. К «изображениям» в зеркалах и в других случаях мы еще далее вернемся.

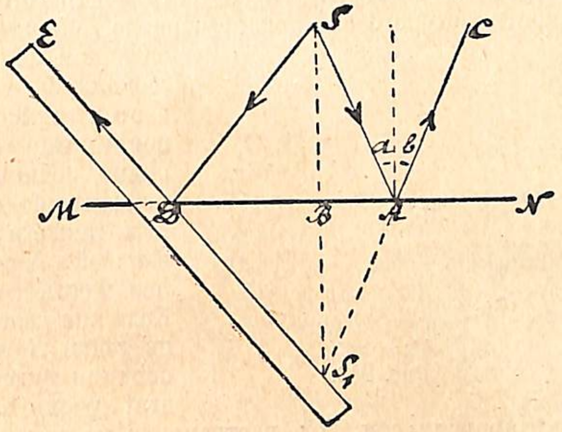


Рис. 242.

II. «Собирательное» или «увеличительное» зеркало.

236. Зеркала бывают не только плоские, но и различным образом изогнутые. Например, много применений находят шаровые или сферические зеркала, отражающая поверхность которых составляет часть поверхности шара. Представим себе полый металлический шар (рис. 243) с блестящею снаружи и изнутри поверхностью и положим, что от него отделен небольшой срезок («краюшка») ABC: тогда с внутренней стороны это будет вогнутое сферическое зеркало, а с наружной — выпуклое. Вогнутое зеркало формою напоминает «рефлектор»

[1]) Это ясно уже из хорошо сделанного чертежа. Но в том же можно еще лучше удостовериться простым геометрическим рассуждением, которое дает вывод, не зависящий от неизбежных погрешностей чертежа. Из равенства прямоугольных треугольников ABS и ABS_1 следует равенство углов SAB и S_1AB; но последний угол равняется углу CAN; следовательно, $\angle SAB = CAN$, а отсюда выходит и равенство углов a и b.

(отражатель) при лампе; выпуклое же зеркало похоже на металлическую выпуклую пуговицу.

На рис. 244 дугою круга изображено вогнутое сферическое зеркало. Центр круга (*C*) есть центр того шара, часть поверхности которого составляет зеркало. Каждая прямая линия, проведенная из центра к поверхности зеркала, будет его р а д и у с. Радиус в этом случае заменяет собою перпендикуляр к зеркалу, что хорошо видно, если начертить дугу по возможности большого радиуса. (Вспомним также и то, что отвесная линия в любой точке шаровой поверхности земли есть ее продолженный радиус.) Если на вогнутое зеркало падает из точки *S* луч *SA*, то углом его падения будет угол *SAC*, составленный лучом с заменяющим перпендикуляр радиусом *AC*; построив по ту сторону радиуса угол *CAB*, равный углу *SAC*, найдем направление отраженного луча *AB*.

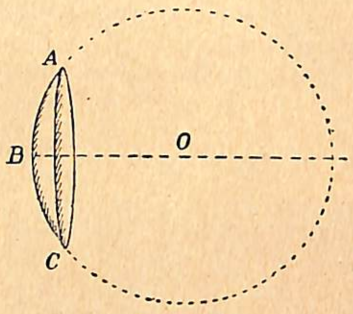


Рис. 243.

237. Из различных применений вогнутых сферических зеркал мы рассмотрим здесь только два. Во-первых, такое зеркало дает возможность с о с р е д о т о ч и в а т ь, с о б и р а т ь лучи от светового источника в одном месте. Как именно — будет понятно из следующего. Если мы примем световые лучи на плоское зеркальце и будем поворачивать его так или иначе, то можем придать отраженным лучам любое направление. С помощью нескольких зеркал можно направить свет в одно место и таким образом сосредоточить его. При этом легко заметить, что если лучи идут от сильно раскаленного источника (солнца), то после отражения они тоже г р е ю т, хотя и слабее, чем падающие прямо от источника. В яркий солнечный день достаточно даже одного зеркала, чтобы заметить тепловое действие отраженных лучей: стоит только принять их на щеку. Собирая в одном месте солнечные лучи от нескольких зеркал (от нескольких обломков или узких полосок разрезанного на части зеркала), можно получить более значительное повышение температуры. С помощью достаточного числа зеркал удавалось отраженными солнечными лучами на боль-

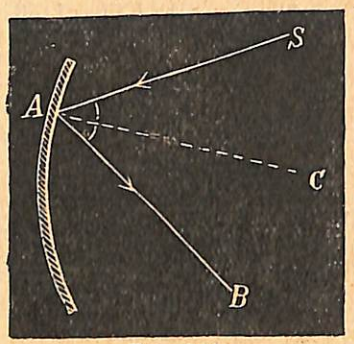


Рис. 244.

шом расстоянии з а ж е ч ь д е р е в о. Представим себе теперь, что все отдельные зеркальца расположены так, что составляют как бы часть шаровой поверхности (на рис. 245 изображена ломаная линия, части которой касаются круга, имеющего центр в *C*). Параллельные пучки света, например, солнечного, отразившись от зеркал, собираются тогда приблизительно в одном месте, между *C* и *A*; чтобы в этом удостовериться, стоит лишь начертить углы падения и отражения для каждого из зеркалец. Но если мы сравним форму такого составного зеркала с вогнутым сферическим (рис. 246), то увидим явное сходство: последнее состоит как бы из множества очень маленьких плоских зеркалец, расположенных по шаровому срезку. Направим на него лучи солнечного света: отразившись, они соберутся на небольшом пространстве *F* против зеркала (см. также рис. 247); здесь получится, если держать поперек бумажку, маленький ослепительно яркий кружок. Жар в этом месте настолько силен, что в хороший солнечный день бумага и материя (особенно—черные или темноцветные) быстро загораются. Собирая таким образом солнечные лучи большим вогнутым

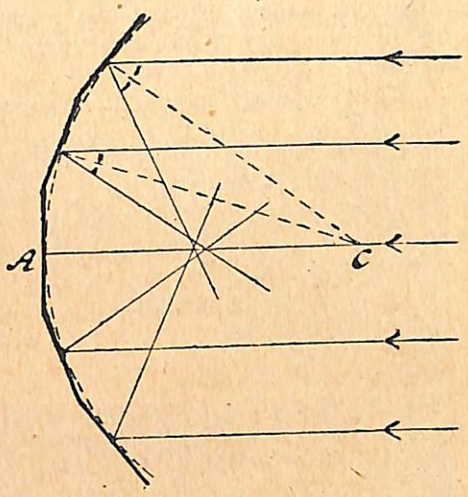


Рис. 245.

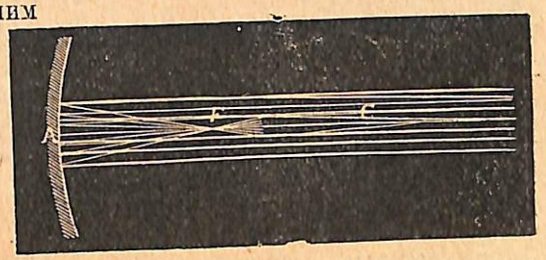


Рис. 246.

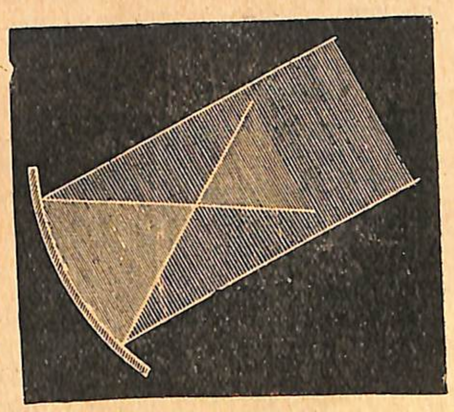


Рис. 247.

зеркалом, можно расплавить даже тугоплавкий металл, а вскипятив ими воду в паровом котле — привести в действие паровую машину.

Если бы свет падал на вогнутое зеркало не от солнца, а из *одной точки*, то после отражения он собирался бы перед зеркалом почти в одной же точке — вроде того, как изображено на рис. 248. Точка схода лучей носит особенное *название*: *фокус лучей*. Эта точка может лежать дальше или ближе по отношению к зеркалу, смотря по тому, как далеко находится источник света. Фокус падающих на зеркало параллельных лучей (как на рис. 246) имеет совершенно определенное положение и называется *главным фокусом зеркала*; он лежит почти ровно на середине радиуса AC зеркала. После сказанного понятно, почему вогнутое сферическое зеркало называется также собирательным.

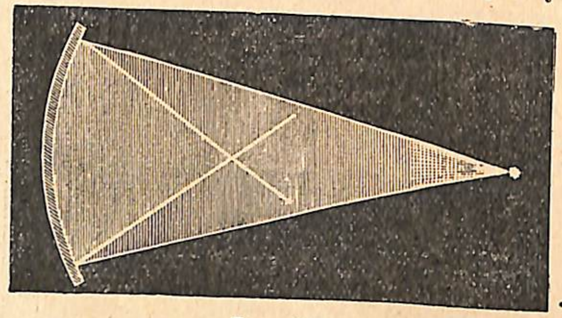


Рис. 248.

238. Дальнейший его интерес—вот в чем. Поместим светящую точку в фокусе F зеркала (рис. 246). Легко сообразить, что лучи после отражения направятся так, как падали бы на зеркало лучи, которые собираются в его фокусе, т.-е. параллельно. Но параллельный пучок света не расходится, не разбрасывается по мере удаления от источника; поставим поперек его какую-нибудь площадку, и мы увидим, что на нее упадет одинаковое количество света на разных расстояниях. А что это значит? То, что освещенность площадки не будет уменьшаться с увеличением расстояния от источника, как обычно, когда мы имеем дело с расходящимися лучами. Вот способ сильно освещать на больших расстояниях! Вам, конечно, не раз случалось видеть ночью яркие «глаза» паровоза, приближающегося к станции. Но посмотрите сбоку на фонарь, когда паровоз подойдет близко, и вы увидите, что этот сильный свет происходит от простой керосиновой лампочки, пламя которой помещается в фокусе вогнутого зеркала: благодаря этому свет, который падает от него на зеркало, направляется приблизительно параллельно и может на большом расстоянии осветить хотя и небольшую площадку, но зато сильно. Вогнутые зеркала часто применяются с подоб-

ною же целью на маяках, в «прожекторах», служащих для освещения мишени при стрельбе в цель, и т. п. [1]).

Вогнутое зеркало обыкновенно доставляет особенное удовольствие тому, кто заглянет в него на близком расстоянии: он увидит в нем свое лицо более или менее *увеличенным*. Поэтому такое зеркало называется еще и увеличительным. Напротив, в выпуклом зеркале предметы представляются *уменьшенными*. Но о том, как и почему происходят изображения, увеличенные против действительности (припомним еще увеличительное стекло — лупу) или уменьшенные, мы поговорим в другом месте (см. главу двадцать вторую).

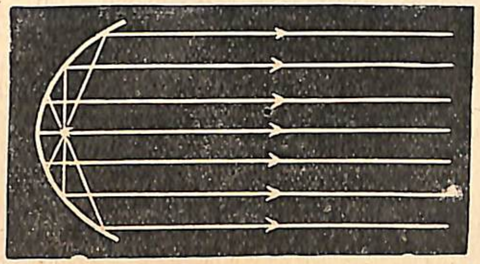


Рис. 249.

III. Простейшие явления преломления световых лучей.

239. Посмотрим теперь, что происходит с лучами света, когда они переходят из одного прозрачного тела в другое. По поводу слова «прозрачный» надо заметить, что оно довольно-таки условно. Сквозь некоторые тела, считаемые нами непрозрачными, несомненно проходит свет. Доказано, например, что солнечный свет заметным образом проникает сквозь всю толщу нашего тела, а просвечивание пальцев на сильном свету каждый может наблюдать сам. В достаточно тонком слое каждое вещество начинает просвечивать, становится прозрачным. Например, тонкие древесные стружки уже просвечивают. Из золота, серебра и некоторых других металлов удается изготовлять пленки настолько тонкие, что сквозь них хорошо видны очертания предметов [2]). С другой

[1]) Строго параллельного пучка света таким путем получить нельзя, хотя бы уже потому, что в действительности каждый наш световой источник есть телесный предмет и, следовательно, не может быть совмещен с точкой, которая называется фокусом сферического зеркала. Кроме того, лучи, отразившись от частей такого зеркала, лежащих ближе к его краям, идут уже не столь правильно. На практике цель лучше достигается зеркалами, отличающимися от сферических (рис. 249); более глубокую их форму можно видеть, заглянув внутрь паровоза или автомобиля.

[2]) На толщину тонкой почтовой бумаги уложилось бы около 500 просвечивающих золотых листочков.

стороны, каким бы прозрачным ни казалось вещество, оно всегда задерживает или поглощает часть света на его пути. Стекло, например, пропускает тем меньше света, чем оно толще. Морская вода, одно из самых прозрачных веществ — пропускает свет лишь на глубину версты или около того; на больших морских глубинах господствует полный мрак. Атмосферный воздух тоже не может считаться совершенно прозрачным: очертания отдаленных предметов, даже при самом чистом воздухе, видны менее отчетливо, чем вблизи—подернуты, как говорят, синеватой «дымкой» («воздух» на пейзажах художников—явление очень красивое в высоких горных местностях). В действительности нет веществ ни совершенно прозрачных, ни совершенно непрозрачных. «Прозрачными» свет более или менее поглощается, а внутрь непрозрачных всегда проникает на некоторую, хотя бы и весьма малую глубину. Та доля света, которая задерживается веществом, обыкновенно усиливает движение молекул этого вещества — нагревает его. Заметьте, как сильно нагревается солнечными лучами черный железный подоконник—по обычному «непрозрачный» — и как в то же время слабо нагревается чистое— «прозрачное» — оконное стекло. Обратите еще внимание на то, что стекло сильно загрязненное, менее прозрачное, т.-е. задерживающее больше света, нагревается заметно сильнее. Выражениями «прозрачный» и «непрозрачный» в обыденном смысле слов мы, однако, часто будем пользоваться — просто для краткости.

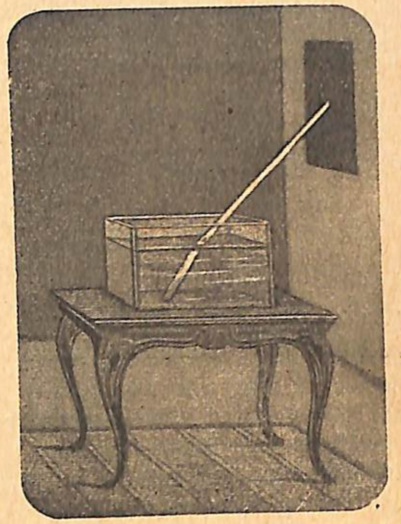


Рис. 250.

240. Направим полоску солнечного света из отверстия оконной ставни косо на слегка мутную воду: мы тотчас увидим, что в воде полоска изменила свое направление — пошла менее косо к поверхности воды (рис. 250). В подобных случаях говорят, что световой луч «преломляется» (т.-е. как бы переламывается). Рис. 251 представляет, с необходимыми подробностями, явление при переходе света из воздуха в кусок стекла. Луч, имевший в воздухе направление SA, при переходе в стекло, как и в предыдущем случае, приближается к перпендикуляру CD, проведенному к разграничивающей плоскости в точке падения; разница только в том, что в стекле луч отклоняется от первоначального направления несколько больше, чем в воде [1]. Угол SAC между падающим лучом и перпендикуляром будет, как и прежде, углом падения; угол же BAD, составленный преломленным лучом с перпендикуляром, называется углом преломления луча. Большему углу падения S_1AC соответствует и больший угол преломления B_1AD; но угол B_1AD опять меньше соответственного угла падения S_1AC. Если луч падает перпендикулярно к разграничивающей плоскости, то он идет дальше по своему первоначальному пути, т.-е. не преломляется. (Как велики тогда углы «падения» и «преломления»?) [2]) В случае перехода луча из стекла или воды в воздух ход его обратный предъидущему (см. тот же рисунок): луч BA пошел бы в воздухе по направлению AS, а луч B_1A — по

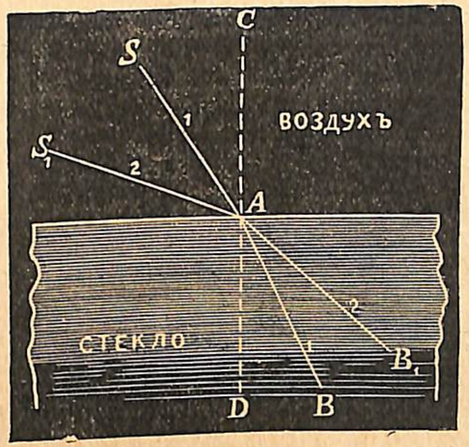


Рис. 251.

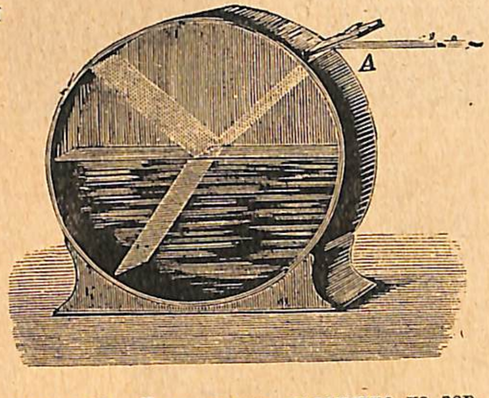


Рис. 252. Лучи света, падающие на зеркало A, после отражения от него попадают через узкую щель в цилиндрический сосуд, наполовину наполненный водой. Здесь они частью отражаются от поверхности воды, частью, входя в воду, преломляются.

[1]) Чтобы не усложнять рисунков, на них не изображены лучи, отраженные ограничивающею поверхностью, о которых мы уже говорили в предъидущей главе. Более полно явление видно на рис. 252, изображающем прибор, очень удобный для опытов.

[2]) Надо еще добавить, что в простейших случаях, которые мы рассматриваем, преломленный луч остается в той же самой плоскости, в которой лежат падающий луч и перпендикуляр к плоскости (как и в случае отражения); это позволяет нам и здесь обходиться без перспективных чертежей, а изображать все явление в плоскости бумаги, что и сделано на рис. 251.

направлению AS_1. Следовательно в этом случае — и при переходе из воды в воздух — угол преломления больше угла падения, что представлено и отдельно на рис. 253.

При переходе лучей из воздуха во многие другие прозрачные тела — назовем, например, каменную соль, лед, алмаз, спирт, бензин — происходит также уклонение луча в сторону перпендикуляра, т.-е. угол преломления меньше угла падения. Но различные материалы отличаются друг от друга по «преломляющей способности»: в одних луч уклоняется от первоначального своего направления меньше, в других — больше. Большою преломляющею способностью — наибольшею среди названных выше материалов — отличается алмаз (с чем, кстати сказать, связана замечательная «игра цветов», свойственная бриллиантам).

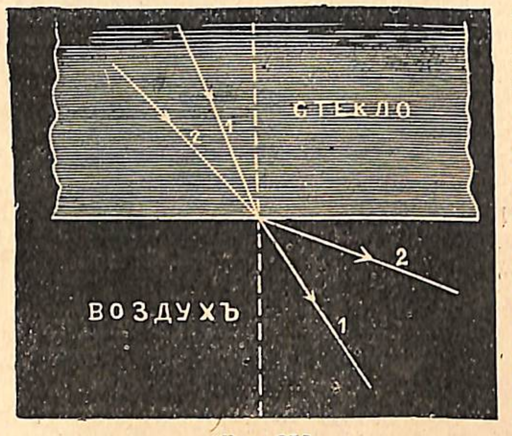


Рис. 253.

241. Преломление света вообще сказывается целым рядом явлений, которые можно заметить при некотором внимании. Например, если, смотря на светлую точку через малое отверстие (рис. 229), мы поместим хотя бы между a и b кусок толстого зеркального стекла, держа его наклонно к прямой abc, то можем и не увидеть светящейся точки S. Положение и форма предметов, находящихся под водою, очень часто представляются измененными против действительности. Положим на дно чайной чашки монету и поместим наш глаз так, чтобы монета скрылась за стенкою чашки. Если потом нальем в чашку воды, то увидим монету как бы приподнятою. Выходящие в воздух лучи именно удаляются от перпендикуляра и попадают в глаз так, как если бы шли от точек, лежащих выше действительных. Для одной точки это представлено на рис. 254: из него

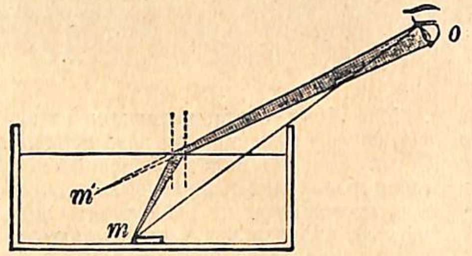


Рис. 254.

видно, что вершина светового пучка, достигающего глаза от точки m, будет находиться в m^1, выше m. Глаз наш в сущности видит не монету, а что-то кажущееся, ее «изображение». Это один из множества «оптических обманов», о которых мы еще поговорим дальше. Точно так же объясняется, почему палка, опущенная в воду, может показаться переломленною у поверхности воды: все части палки под водою представляются глазу более или менее приподнятыми. Чайная ложка в стакане с водою, если надлежащим образом смотреть со стороны, кажется раздвоившеюся у поверхности воды (рис. 255). Когда мы смотрим сквозь воду на дно, мы видим слой воды менее


Рис. 255.

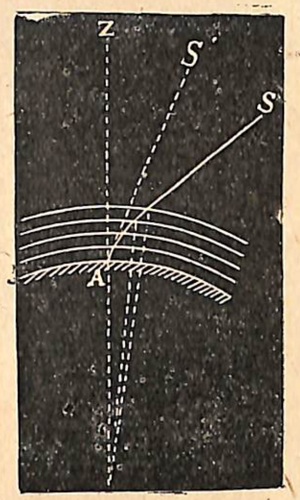


Рис. 256.

глубоким, чем в действительности; например, дно наполненного водою белого ведра кажется заметно приподнятым. Вещи, рассматриваемые сквозь склянку или графин с водою, кажутся иной формы и на другом месте, чем на самом деле, и т. д.

Очень любопытно и то, что световые лучи, идущие от небесных тел (солнца, звезд), попадая из мирового пространства в земную атмосферу, преломляются в ней. Уклоняясь все более и более по мере перехода в более плотные воздушные слои, лучи описывают в атмосфере криволинейный путь (рис. 256) и под конец попадают в наш глаз *(A)* в чуть измененном против

первоначального направлении. (На рисунке уклонение очень усилено.) Таким образом, строго говоря, астроном-наблюдатель видит небесные светила не в тех местах небесного свода, в которых они находятся в действительности — конечно, кроме стоящих прямо над головою — в «зените» (*Z*), ибо лучи, идущие отвесно, т.-е. по направлению радиуса атмосферных слоев, не преломляются. Наибольшей величины это «атмосферное преломление» достигает для светил у самого горизонта: тогда светило кажется на $^1/_2{}^\circ$ в ы ш е своего действительного положения [1]).

242. То, что мы говорили в предыдущей главе о «прямолинейности» распространения света, не относится, как мы теперь видим, до того случая, когда лучам приходится встречать на пути р а з н ы е материалы.

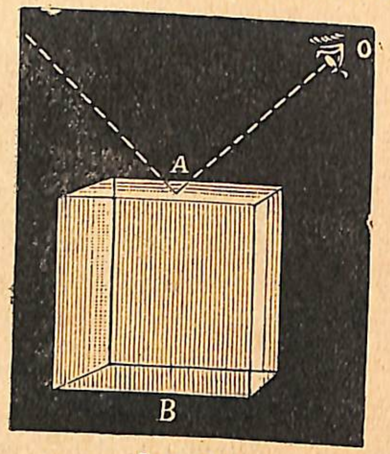


Рис. 257.

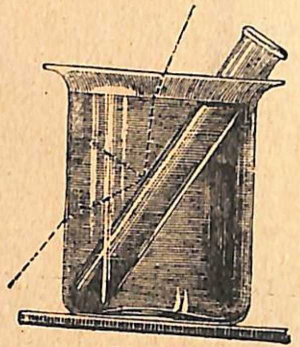


Рис. 258.

Мало того, если среда в разных частях своих хотя в чем-нибудь неодинакова, н е о д н о р о д н а, например, различается по плотности, как атмосферный воздух на разных высотах, то лучи вообще уже не идут прямолинейно. Свет распространяется прямолинейно только в однородной среде [2]).

[1]) Полградуса — приблизительно видимая «угловая величина» солнца и луны, т.-е. угол, составленный прямыми, проведенными к глазу от двух прямо-противоположных краев солнечного или лунного диска. Отсюда, между прочим, выходит одно очень интересное следствие. Когда нам кажется, что, например, солнце на закате коснулось нижним краем плоскости горизонта, оно в действительности находится уже под горизонтом и без атмосферного преломления не могло бы быть видимо: глаз наш видит тогда не самое солнце, а его кажущееся «изображение». Сплющенная форма заходящего солнца также есть следствие атмосферного преломления.

[2]) Всякое изменение в направлении светового луча — следствие нарушения однородности среды. Как отражение, так и преломление луча, проис-

IV. Как преломляются лучи при проходе чрез тела с параллельными и непараллельными сторонами.

243. Положим, что луч *AB* проходит из воздуха в косвенном направлении сквозь кусок стекла с *параллельными сторонами*, например, кусок зеркального стекла (рис. 259). При входе в стекло он приближается к перпендикуляру, а при выходе по другую сторону — н а т а к о й ж е у г о л удаляется от перпендикуляра. Но так как перпендикуляры в точках входа и выхода луча имеют одно и то же направление (параллельны), то луч выйдет из стекла по направлению *CO*, которое параллельно первоначальному *AB*. (Если вы, идя прямо, свернете вправо, а потом опять н а т а к о й ж е у г о л влево, то вы пойдете снова по прежнему направлению.) Глазу *O*, смотрящему сквозь такой — достаточно толстый — кусок стекла на точку *A*, она будет казаться несколько смещенной в сторону (в точку A_1). Этого, конечно, не будет, если луч падает перпендикулярно к поверхности стекла. Когда стекло тонко, смещение видимых сквозь него предметов, происходящее от указанной причины, ничтожно, и мы его обыкновенно не замечаем. Но если смотреть, например, сквозь достаточно толстый кусок зеркального стекла на строчки печатной страницы, то, при

ходит н а р а з г р а н и ч и в а ю щ е й п о в е р х н о с т и. Когда мы говорим: свет отражается от стекла, преломляется в стекле, мы выражаемся не совсем правильно: — надо бы сказать: отражается и преломляется на границе, отделяющей стекло от воздуха. Отражение и преломление происходит ведь и в обратном случае — при переходе луча из стекла в воздух; следовательно, мы с одинаковым правом могли бы сказать, что свет отражается и преломляется воздухом. Взгляните на верхнюю грань стеклянного кубика (рис. 257): она действует как зеркальце, хотя и отражает меньше света, чем серебряная зеркальная наводка. В то же время нижняя грань кубика (*B*) представляется блестящей, как серебро: от нижней грани — если смотреть на нее известным образом (примерно при положении глаза, показанном на рисунке) — свет отражается даже полнее, совершеннее, чем от верхней. Встречаются именно замечательные случаи п о л н о г о отражения света от поверхностей, разграничивающих две среды — тогда, когда свет переходит из среды более преломляющей (как стекло, вода) в менее преломляющую (как воздух). Стеклянная пробирка, погруженная в стакан с водою, если смотреть косо сверху (рис. 258), кажется посеребренной с поверхности; но явление тотчас исчезает, лишь только налить в пробирку воды и устранить таким путем воздух. На рис. 255 (выше) видно изображение рукоятки ложечки изнутри в поверхности воды, как бы в зеркале (глаз смотрящего предполагается ниже); оно тоже происходит вследствие полного отражения света внутрь воды от границы между водною поверхностью и воздухом. Однородность самого воздуха, вследствие неравномерного нагревания, может иногда нарушаться так, что известные поверхности его становятся сполна отражающими свет, зеркальными; этим объясняются некоторые замечательные оптические явления в атмосфере (мираж и др.).

известных положениях стекла, строчки будут казаться сдвинутыми параллельно самим себе. Рис. 260 и 261 изображают,

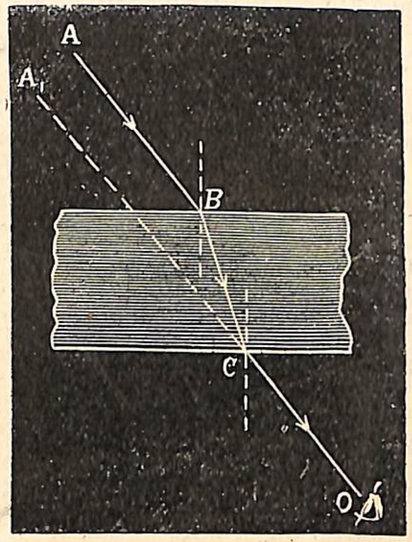


Рис. 259.

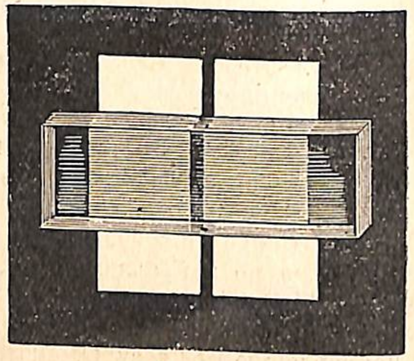


Рис. 260.

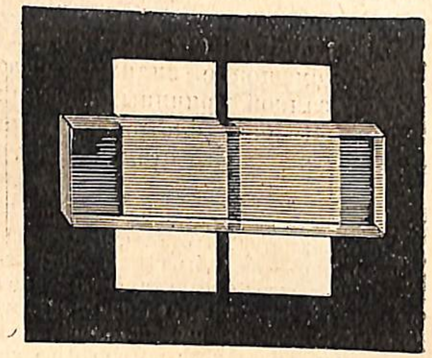


Рис. 261.

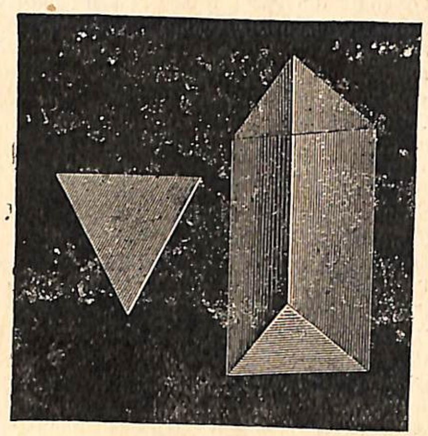


Рис. 262.

как нам представится прямая черта, если смотреть на нее косвенно сквозь толстый кусок стекла—справа и слева. Точно так же сильно смещенною кажется средняя часть карандаша (пальца) при рассматривании ее искоса сквозь стеклянный кубик.

244. Возьмем теперь прозрачное тело, ограниченное с двух сторон непараллельными гранями. Для опытов обыкновенно такому телу придают форму трехгранной призмы. Рис. 262 изображает такую призму, а рядом — ее попе-

речное сечение, которым мы дальше будем заменять рисунок самой призмы. Луч, падающий на одну из граней *AB*, как показано на рис. 263, выходит по измененному направлению чрез другую грань, *AC*. Угол *A* есть угол взаимного наклонения граней, чрез которые луч входит и выходит; он называется преломляющим углом призмы. Грань *BC*, лежащую против преломляющего угла, мы назовем основанием призмы. Теперь мы можем кратко сказать, что луч отклоняется призмою к ее основанию (см. также рис. 263, II). Глазу же *O*, смотрящему сквозь призму на точку *S*, эта точка будет казаться сме-

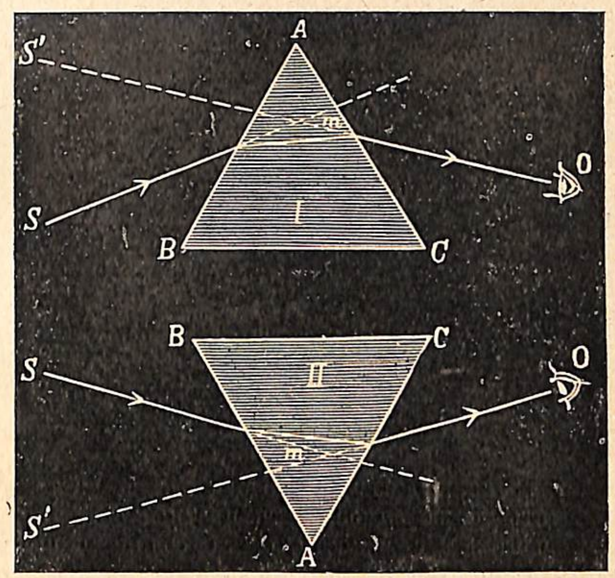


Рис. 263.

щенною в сторону вершины угла *A*. Полнее это представлено на рис. 264, на котором от верхушки пламени взят не один луч, а световой пучок, как и должно быть в действительности; опять верхушка пламени (и все пламя) покажется глазу не на своем действительном месте, а (при условиях рис. 264) выше: глаз видит не самое пламя, а его изображение. «Смотреть на вещи сквозь призму» — довольно обычный оборот разговорной речи — значит: видеть их не там и не такими, как в действительности. Обратим попутно внимание на красивое цветовое явление, которое замечается при рассматривании предметов сквозь призму. Смотря известным образом сквозь призму на переплет оконной

*

рамы, на край листа бумаги, на пламя лампы и пр., мы увидим около предметов цветные полосы или каймы, напоминающие цвета радуги. Если солнечный свет, прошедший чрез призму, падает потом на стену (лучше всего белую), на писчую бумагу и пр., то на них получается радужное пятно. Граненый

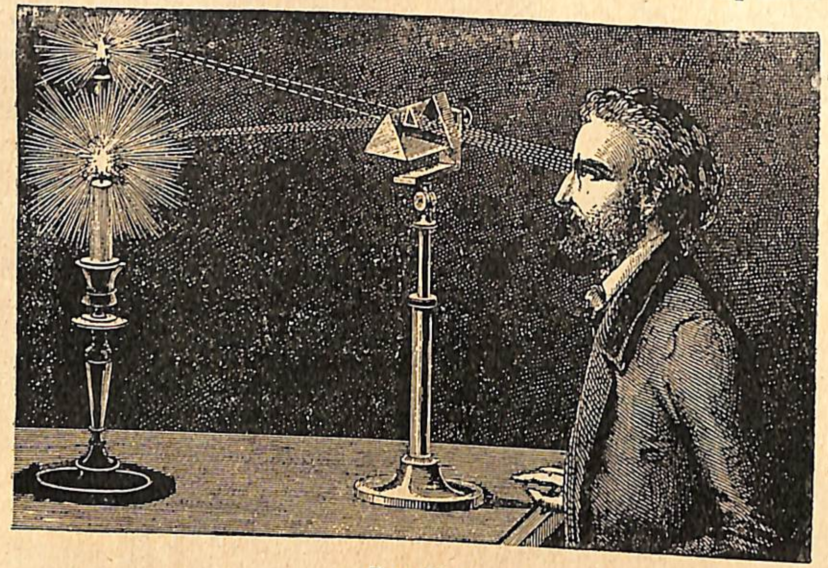


Рис. 264.

кусок стекла, граненый сосуд с водою и т. п. часто дают нам случаи наблюдать то же самое. Эти цветные явления, причина которых заключается в сложности света солнца и наших обычных световых источников, будут ближе рассматриваться отдельно, в главе двадцать третьей.

V. О сходствах явлений света и звука; что такое «свет».

245. Свет и звук! Казалось бы, какое же тут сходство? Да, если разуметь наши световые (зрительные) и звуковые (слуховые) ощущения, то мудрено сравнивать их между собою. Но дело изменяется, если взглянуть на него с физической стороны — на то, как явления происходят вне нас. Мы «видим» и «слышим» на расстоянии, без того, чтобы наши органы зрения или слуха непосредственно касались светящего или звучащего

предмета. Свет распространяется от источника во все стороны по прямым линиям. А звук? Мы ведь тоже привыкли искать звучащий предмет по прямому направлению с той стороны, откуда звук доносится. От света мы можем «заслониться» чем-нибудь непрозрачным; но и от звука нас более или менее заслоняет стена или даже ствол толстого дерева. Правда, звуковые колебания частью обходят такие предметы и слышны за ними; но оказывается, что и свет тоже загибает за края непрозрачных предметов, но только едва-едва, так что это гораздо труднее заметить. Свет и звук отражаются от окружающих нас предметов: поэтому пространство вокруг нас как бы «наполнено» светом и звуками. Правильность при отражении световых лучей от плоского зеркала можно наблюдать и для звуковых волн, только не так отчетливо. Обыкновенно мы слышим эхо собственного голоса прямо «против» себя, подобно тому как в зеркале видим свое изображение прямо перед собою. Но положим, что в открытом месте (на лугу) стоит небольшое строение, одна из стенок которого — MN (рис. 265), и что где-либо в стороне от нее, в точке A, производится выстрел. Находясь около места A, мы, конечно, не услышим эхо. Чтобы его слышать, мы должны поместиться так, чтобы отраженные от стенки звуковые волны могли попасть в наше ухо, именно стать где-либо по направлению BC. Заметив направление AB, по которому звуковые волны падают на стенку MN, и то (BC), по которому они отражаются от нее, — по которому именно отраженный звук слышен лучше всего, — находят, что угол ABN равен углу CBM. (От каждого отдельного результата нельзя, впрочем, ожидать большой определенности.) Мало того — звуковые волны можно направлять помощью отражения в одно место и таким образом собирать их, как собирают световые лучи. Например, нередко в помещениях со сводчатым потолком слабый звук, произведенный в одном месте, хорошо слышен в другом определенном месте и слабо — в соседних точках. Это происходит от того, что здесь сосредоточиваются звуковые волны, отраженные от кривой поверхности потолка, — образуется фокус звуковых волн[1].

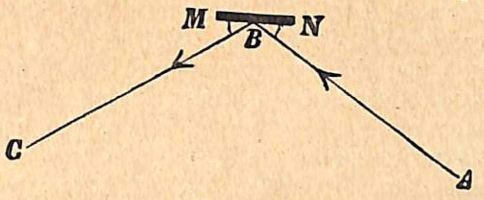


Рис. 265.

[1]) Подобное явление иногда замечается и в комнате без свода, особенно если есть закругленные стены; оно может быть довольно неприятно для говорящего, когда фокус волн его собственного голоса приходится в одном месте с его ухом.

246. Все это наводит на мысль, что и в случае света от источника посылается во все стороны какое-то движение. Если так, то и распространение света должно требовать времени. Опыт действительно показывает, *что свет распространяется не мгновенно*. Но наши земные расстояния, на которые еще хватает глаз, слишком малы, чтобы можно было заметить это какими-нибудь простыми средствами, в роде того, как в случае звука. Что глаз наш видит свет с «запозданием» против момента, когда он возникает на месте — это было впервые замечено астрономами на больших небесных расстояниях. Оказалось, что скорость распространения света громадна — почти в миллион раз больше скорости звуковых волн в воздухе. Поперечник годового пути земли вокруг солнца (земной орбиты), который равняется 300 миллионам километров, свет проходит почти ровно в 16 минут 40 сек., или 1000 секунд; это составляет *300.000 километров в секунду*. Следовательно, в течение одной секунды свет мог бы обойти $7^1/_2$ раз вокруг земли, а громадное расстояние, отделяющее нас от солнца (т.-е. половину упомянутого выше поперечника земной орбиты) он пробегает в 8 с небольшим минут. И тем не менее, утонченные средства современных научных наблюдений дают возможность измерить время, в течение которого свет проходит путь в несколько километров или даже пространство физической лаборатории, и таким образом проверить вывод, добытый астрономическими определениями.

Стоит обратить внимание на одно интересное следствие, вытекающее из того, что распространение света требует времени. От солнца свет доходит до нас, как только что сказано, в 8 слишком минут. Следовательно, если бы произошло, например, вдруг значительное ослабление или усиление солнечного света,—от каких-либо причин на самом солнце, — то мы заметили бы его не тотчас же, а через 8 минут. Но расстояние от земли до солнца совершенно ничтожно сравнительно с расстояниями, отделяющими нас от тел *звездного мира*—от других солнц, подобных нашему: звезды, еще сравнительно близкие к нам, в сотни тысяч и миллионы раз дальше солнца. *От ближайшей к нам звезды свет доходит до нас только в четыре года*; от очень немногих других, тоже сравнительно близких, — в десятки лет; от огромного же большинства звезд, которые мы еще можем видеть простым глазом на небе, свет достигает до нас, вероятно, в сотни лет. Что же сказать о том множестве звезд, которые по дальности расстояния видимы только в сильнейшие астрономические трубы? Время, в течение которого их свет может дойти до нашего глаза, должно считаться тысячелетиями! Следовательно, те явления, которые ныне наблюдаются астрономами в безднах звездного мира,

в действительности относятся большею частью к давно минувшим временам. Вот любопытный пример. В феврале 1901 года в созвездии Персея внезапно вспыхнула «новая» звезда (появление таких звезд случалось и раньше), привлекшая большое внимание не только ученых, но и образованного общества. Просияв несколько ночей, она начала постепенно угасать; но за представляемыми ею интересными явлениями еще долго следило много вооруженных наблюдателей. Это произошло, как говорится, «на наших глазах». И, однако, в действительности все это случилось гораздо раньше: нельзя даже сказать, когда именно (быть может, несколько веков тому назад), так как расстояние до временно засветившейся звезды нам неизвестно. Общий неизбежный вывод отсюда тот, что *видимый ныне звездный мир представляет* нам в сущности *картину* более или менее *отдаленного прошлого*.

247. Какое же именно движение происходит вокруг тела, которое посылает от себя свет? Физик представляет себе это движение волнообразно-распространяющимся, колебательным — вроде того, как при волнении воды. Существует одно замечательное обстоятельство, которое еще более, чем все предыдущие, сближает между собою явления света и звука, а те и другие — с распространением волн по водяной поверхности. Случалось ли вам видеть, как один ряд волн набегает на другой? Волнение при этом не непременно усиливается, как могло бы показаться с первого взгляда; бывает и наоборот: волны почти совсем *утихают* — это хорошо знают опытные моряки.

Ведь при волнении воды каждая ее частичка движется то в одну сторону, то в другую — вверх и вниз. Положим, две волны встречаются — набегают друг на друга — таким образом, что сообщают частичке одновременные толчки в одну и ту же сторону (это именно будет, когда вал одной волны совпадает с валом другой волны, и впадина одной со впадиной другой): движение частички, конечно, усилится. Но если, наоборот, частичка получит от обеих волн толчки противоположные (вал придется на впадину и впадина на вал), то ее движение ослабеет, и она может даже остаться в покое — при толчках прямо противоположных и одинаковой силы.

В звуковой волне, как мы знаем, частички тоже движутся то в одну сторону, то в другую. И вот, если частичка воздуха, по которому проходят два ряда звуковых волн, получит два одинаковых толчка в противоположные стороны, то ее колебание ослабеет (в исключительном случае может и остановиться), а следовательно— ослабеет и звук. Итак звуки, известным образом взаимодействующие, могут не только усиливаться, но ослабляться или уничтожаться.

Подобные явления иногда хорошо заметны на музыкальных инструментах: бывает, что при двух одновременно взятых нотах тон периодически то усиливается, то ослабляется. А кто не слышал таких усилений и ослаблений в гудении большого церковного колокола? Но *нечто весьма сходное удается произвести и со светом*: можно так направить лучи, что они, налагаясь, или усилят друг друга или же *ослабят — почти до полного исчезновения!* Значит, свет со светом могут дать темноту? Да, и это лучшее доказательство того, что свет, подобно звуку, производится некоторого рода колебательным движением.

248. Только теперь мы можем дать себе некоторый отчет в том, что такое *луч света*: это — направление, по которому распространяются световые волны. Собственно, так как волны расходятся во все стороны, то от каждой светящейся точки идут расходящиеся, расширяющиеся пучки света (как на рис. 266). Но пучок чрезвычайно тонкий, например, падающий на очень маленькую или очень отдаленную площадку, мы можем заменить прямой линией: вот ее-то и называют лучом. Часто можно слышать, что говорят: вот *я вижу лучи* заходящего солнца,

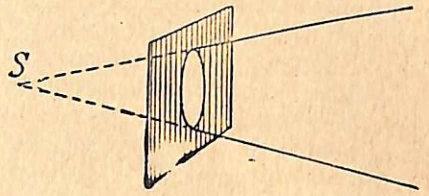


Рис. 266.

электрического света... Но подумаем хорошенько, можно ли «видеть» лучи, или собственно пучки, посылаемые световым источником? Ведь это распространение какого-то движения, каких-то световых волн, которые только тогда воспринимаются нами, как свет, когда попадают в глаз. Если эти волны идут мимо меня, минуя мои глаза, то как я могу их видеть? Если же они попадают в глаза, то опять-таки я вижу не самые лучи, а солнце или источник электрического света, который их посылает. А светлые полосы, расходящиеся от источника света? — скажете вы. Но мы уже упоминали выше (§ 226), отчего они происходят. Световые пучки становятся видимыми тогда, когда встречают на своем пути, например, что-либо могущее отражать световые волны к нашему глазу. Мы видим не лучи, а освещаемые ими на пути тела — видим, так сказать, лишь след светового пучка. Пространство, в котором нет ничего, что могло бы отбрасывать свет к нашему глазу, являлось бы для нас *совершенно черным*, *хотя бы пронизывалось лучами сильного источника света*. Таково, например, междузвездное пространство, по

которому движется наша земля. Несмотря на множество солнц (среди которых наше по размерам и светимости далеко не занимает первого места), в мировом пространстве господствует вечная ночь. Атмосфера, окружающая землю, посылает нам днем рассеянный солнечный свет и скрывает тогда от нас темную бездну междузвездного пространства. Но уже воздухоплаватели, подымающиеся достаточно высоко, свидетельствуют, что видят над собою почти черное небо, на котором блистает ослепительно яркое солнце. Спрашивается, что же такое движется, колеблется вдоль того направления, по которому пробегает световой луч? Конечно, не воздух, потому что свет доходит до нас, например, от солнца и звезд чрез «пустоту» небесного пространства; воздух, напротив, всегда даже задерживает, поглощает часть световых лучей. Еще недавно физики почти согласно принимали, что мировое пространство наполнено особым веществом, чрезвычайно подвижным и упругим, которое пронизывает собою и все тела — его называли световым или *мировым эфиром*. «Волны мирового эфира» — вот что должно было, согласно этому представлению, распространяться от светящего предмета. Теперь это предположение почти оставлено, и что представляет из себя эта загадочная «*мировая пустота*» — остается неизвестным. Но физики все же не думают, чтобы необъятные пространства вселенной не содержали в себе ровно ничего, чтобы их назначение было только отделять друг от друга рассеянные в ней пылинки материи, которые мы называем небесными телами. В этих пространствах, несомненно, зарождаются и совершаются величественные явления, которыми живет вселенная, живет наша земля; но только эти явления становятся доступными нашим чувствам лишь тогда, когда они уже известным образом изменились, преобразовались. Во всяком случае можно сказать, что световые лучи несут с собою запас какой-то *энергии*, в некоторых отношениях сходной с энергией водяных и звуковых волн (в других — очень отличной от них). Энергия этого вида носит общее название *лучистой энергии*.

VI. Обзор.

249. Луч света, упавший на плоское зеркало, отражается от него, при чем: 1) лучи падающий и отраженный находятся в плоскости, перпендикулярной к зеркалу, и 2) угол отражения (угол между отраженным лучом и перпендикуляром к зеркалу) равен углу падения (углу между падающим лучом и перпендикуляром к зеркалу).

Лучи, посылаемые светящейся точкой к плоскому зеркалу, после отражения идут так, как будто бы они выходили из одной точки, лежащей прямо против светящейся точки за зеркальной поверхностью на таком же расстоянии от последней, на каком находится от нее и светящаяся точка. Глаз видит здесь изображение точки.

Лучи света, падающие из светящейся точки на вогнутое сферическое зеркало, после отражения собираются перед зеркалом почти в одной точке, называемой фокусом. Фокус может лежать ближе или дальше по отношению к зеркалу, смотря по тому, как далеко находится источник света. Фокус падающих на зеркало параллельных лучей лежит на средине радиуса зеркала и называется главным. Если источник света поместить в главный фокус вогнутого зеркала, лучи после отражения пойдут параллельным (почти) пучком. Предмет, помещенный перед вогнутым зеркалом на близком расстоянии (ближе, чем главный фокус), дает за зеркалом увеличенное изображение. В выпуклом зеркале, напротив, предметы представляются уменьшенными.

По отношению к свету тела делятся на прозрачные и непрозрачные. Понятия эти, однако, довольно условны. В природе нет веществ ни совершенно прозрачных, ни совершенно непрозрачных; прозрачными свет более или менее поглощается, а внутрь непрозрачных всегда проникает на некоторую, хотя бы и весьма малую глубину.

Луч света при переходе из одного прозрачного тела в другое преломляется.

При этом, когда луч переходит из воздуха в воду, стекло, алмаз и т. п., он приближается к перпендикуляру, проведенному к разграничивающей плоскости в точке падения луча; при переходе из воды, стекла и т. п. в воздух, наоборот, — удаляется от перпендикуляра. В первом случае угол преломления (угол, составленный преломленным лучом и перпендикуляром) меньше угла падения (угла, составленного падающим лучом и перпендикуляром); во втором, наоборот, — больше.

Преломляющая способность различных материалов разная: у стекла она больше, чем у воды, у алмаза — наибольшая.

Если луч падает перпендикулярно к разграничивающей плоскости,—он не преломляется.

При переходе света из среды более преломляющей (вода, стекло) в менее преломляющую (воздух) иногда происходит особое явление полного отражения света от поверхности, разграничивающей две среды.

Световой луч после прохождения через тела с параллельными сторонами выходит по направлению, которое параллельно перво-

начальному. Смещения луча не происходит, когда он падает перпендикулярно к поверхности тела.

Луч, прошедший через трехгранную призму, отклоняется ею к основанию. Глазу, смотрящему на светящуюся точку сквозь призму, эта точка будет казаться смещенной в сторону вершины угла, противолежащего основанию призмы.

Свет, как и звук, требует для своего распространения времени. Скорость света громадна — 300.000 километров в секунду.

По воззрениям современной физики свет, подобно звуку, производится некоторого рода колебательным движением, распространяющимся от источника света. От последнего расходятся световые волны. Лучи света — это только направления, по которым распространяются световые волны.

Световые лучи несут с собой особую так называемую лучистую энергию.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ.

Оптические стекла. Глаз и оптические приборы. Обманы зрения.

I. Собирательное или «увеличительное» стекло.

250. Оптическими стеклами обыкновенно называются прозрачные тела, ограниченные сферическими (шаровыми) поверхностями. Примером может служить всем известное «увеличительное» стекло, называемое еще и «зажигательным». Оно ограни-

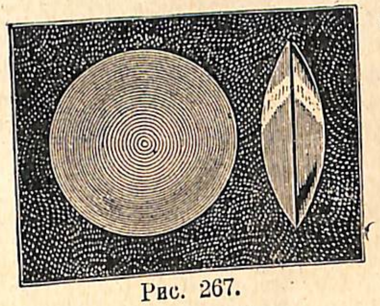


Рис. 267.

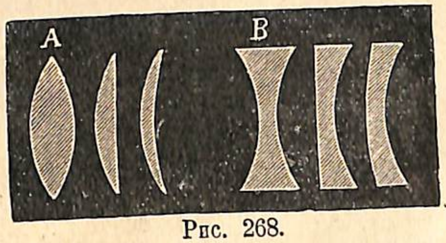


Рис. 268.

чено двумя выпуклыми шаровыми поверхностями (рис. 267). Такое стекло для краткости просто называют «двояковыпуклым» и изображают упрощенно в разрезе так, как на рис. 268, *A*.

Стекло, ограниченное двумя вогнутыми шаровыми поверхностями, называется двояковогнутым (рис. 268, *B*). На рисунке изображены и другие формы стекол, названия которых перечислять незачем, — можно и догадаться; мы здесь ограничимся рассмотрением почти что только двояковыпуклого и двояковогнутого [1]. Оптические стекла имеют **о б ш и р н е й ш и е п р и м е н е н и я п р и у с т р о й с т в е о п т и ч е с к и х п р и б о р о в**, каковы микроскоп, телескоп (астрономическая труба), фотографическая камера, проекционный (волшебный) фонарь и др. Кроме того, свойства оптических стекол разъясняют нам акт зрения и указывают способы возмещать его недостатки, например, помощью очков. По обширности и важности приложений учение об оптических стеклах — один из богатейших отделов физики.

На рис. 269 изображены в разрезе двояковыпуклое стекло и рядом с ним тело, состоящее из двух трехгранных призм, сложенных основаниями, и тело, сложенное из ряда призматических кусков. Нельзя не видеть некоторого сходства с ними (в особенности со вторым телом) двояковыпуклого стекла. Это сходство поможет нам понять, как световые лучи преломляются при проходе чрез двояковыпуклое стекло. Положим, что на него падает пучок солнечных лучей вдоль его **о с и**, т.-е. вдоль прямой, проходящей чрез срединные точки его выпуклости (как на рис. 269). Каждая из призм взятого для сравнения составного стекла отклонила бы луч к своему основанию: верхние призмы — вниз, а нижние — вверх; следовательно, лучи, после преломления, направились бы к средней — самой толстой — части стекла, стали бы взаимно сближаться. В случае **д в о я к о в ы п у к л о г о с т е к л а** это сближение достигается в такой мере, что солнечный свет по проходе чрез него собирается на очень малом пространстве (рис. 270), а если лучи выходят из одной точки *S* (как на рис. 271), то они сходятся почти в одной точке (*f*). Здесь чрез **п р е л о м л е н и е** света достигается то же самое, что помощью вогнутого сферического зеркала — чрез **о т р а ж е н и е**. Точка, в которой

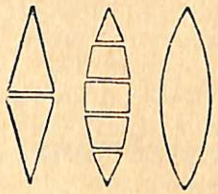


Рис. 269.

[1]) Оптические стекла называются также оптическими «чечевицами», хотя, собственно, это название применимо лишь к двояковыпуклому стеклу. Обыкновенный материал их — стекло разных сортов (разного состава). Но они делаются, смотря по назначению, и из горного хрусталя, каменной соли или других твердых тел, даже из льда; наконец, оптическое «стекло» может состоять из жидкости или газа, заключенных в прозрачную оболочку с шаровыми поверхностями, например, из воды между двумя плотно скрепленными сферическими часовыми стеклами.

собираются лучи, расходящиеся из точки *S*, здесь тоже называется **ф о к у с о м л у ч е й** (или фокусом точки *S*), а точка, в которой сходится параллельный пучек света, падающего на двояковыпуклое стекло вдоль его оси (как на рис. 270), — главным **ф о к у с о м с т е к л а**. Для каждого стекла эта точка имеет совершенно определенное положение на оси; расстояние ее от стекла называется главным **ф о к у с н ы м р а с с т о я н и е м с т е к л а** [1]).

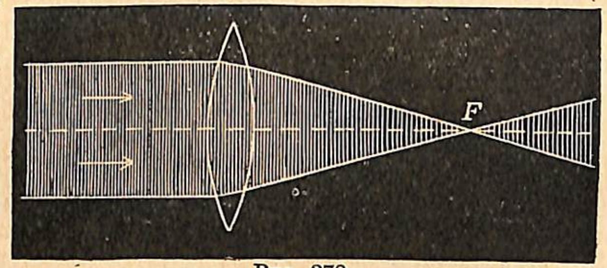


Рис. 270.

В «фокусе солнечных лучей» (так говорят для краткости, хотя это и неточно) можно, как и при отражении их от вогнутого сферического зеркала, получить очень сильный жар; поэтому двояковыпуклое сферическое стекло называют не только «собирательным», но и «зажигательным». В местности, где обычно жаркое и яркое солнце, таким стеклом можно пользоваться вместо спичек. Весьма значительное тепловое действие можно получить, пропустив яркие солнечные лучи сквозь наполненную водою шаро-

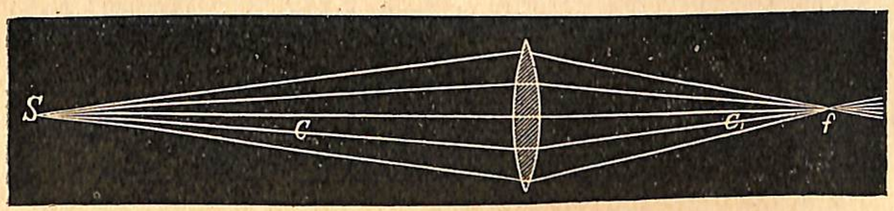


Рис. 271.

образную колбу (или такой же формы гладкий графин): в фокусе лучей загораются спички; удается даже прожечь бумагу (легче — темно-цветную). При ярком летнем солнце около полудня можно зажечь спичку в фокусе стекла от стариковских очков («старческая дальнозоркость» ослабляется именно собирательным стеклом).

[1]) На приблизительных чертежах, каковы наши, фокусы (их именно два — по ту и другую сторону стекла) можно ставить в центрах тех круговых дуг, которыми очерчен разрез стекла.

Наоборот, если поместить в фокусе собирательного стекла сильный источник света по возможности малых размеров, то после преломления получим пучок (приблизительно) параллельных лучей. О способности такого пучка освещать на далеких расстояниях мы уже говорили (§ 237). Когда надо осветить небольшое пространство на значительном расстоянии от источника, пользуются не только вогнутыми зеркалами, но и собирательными стеклами.

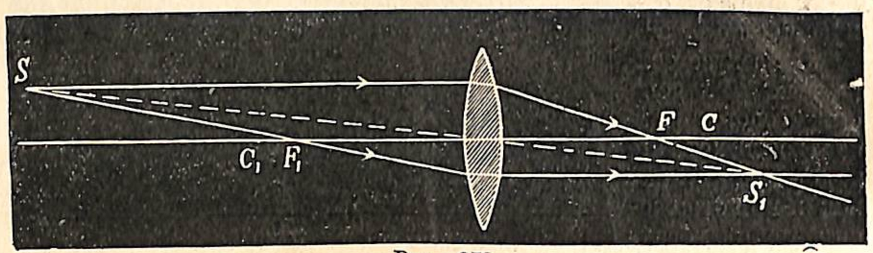


Рис. 272.

251. Применение таких стекол далеко не ограничивается сказанным. Из рис. 271 видно, что пучок света, расходящийся из точки S, после прохода сквозь стекло становится сходящимся. Если мы поперек него против самого стекла поместим листок бумаги, то получим на нем светлый кружок; он будет все меньше и светлее по мере удаления бумаги от стекла; наконец, в f он превратится почти в точку, очень яркую. Следовательно, в фокусе f светящейся точки S получится на бумаге тоже в своем роде светящаяся точка: ее называют «изображением» точки S. Положим теперь, что лучи идут не от точки, лежащей на самой оси, а со стороны, напр., из S (рис. 272) или верхушки пламени свечи A (рис. 273); притом пусть светящийся предмет (рис. 273) находится от стекла достаточно далеко, а именно — дальше удвоенного фокусного расстояния стекла. Найдем построением (чертежом) точку, где они соберутся после преломления. Из различных лучей от S (рис. 272) возьмем луч, идущий параллельно оси: пройдя насквозь,

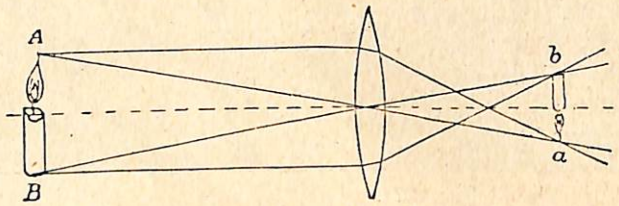


Рис. 273.

он направится по ту сторону стекла чрез его фокус F. Возьмем еще луч, который сперва проходил бы чрез фокус (F_1), лежащий по сю сторону стекла: этот луч, следовательно, пройдет чрез стекло так, как бы шел прямо из фокуса, т.-е. после преломления направится параллельно оси. Оба луча встретятся в точке S_1. Более подробный чертеж показал бы, что в этой именно точке соберется почти весь свет расходящегося пучка, который падает на стекло из S; таким образом точка S_1 будет изображением точки S. Из того же рисунка (272) видно, что изображение S_1 лежит и на прямой, проведенной из точки S чрез средину толщины стекла; этою «боковой осью» еще удобнее пользоваться для нахождения точки схода лучей, нежели лучом, проходящим чрез фокус F_1. Что же выходит в окончательном выводе? Весь пучок света, падающий на стекло из верхушки пламени, соберется в точке a, ниже оси, где и будет изображение верхушки; изображение низа (b) будет выше оси; промежуточные точки пламени дадут изображения между a и b. Получится опрокинутое — о б р а т н о е — изображение пламени. Из чертежа, кроме того, видно, что оно будет во взятом нами случае, когда пламя достаточно далеко от стекла, у м е н ь ш е н н о е сравнительно с пламенем. Легко подтвердить наш вывод опытом. Станем передвигать за стеклом листок белой папки, держа его перпендикулярно к оси: мы вообще получим на нем от пламени свечи светлое пятно, и только в одном определенном месте пятно это вырисуется в отчетливое перевернутое и уменьшенное изображение пламени. Изображение — вроде того, какое получается после прохода света чрез малое отверстие (рис. 233), только оно гораздо отчетливее, потому что там лучи расходятся, а не собираются в определенных точках, и ярче, так как весь свет, падающий на стекло от одной какой-либо точки пламени, сходится почти в одной же точке на бумаге.

Если пламя свечи или лампы очень далеко от стекла, например, исходит от отдаленного фонаря, то лучи, падающие от него на стекло, так мало расходятся, что их можно считать параллельными между собою: изображение пламени, очень маленькое, получится почти точно в главном фокусе стекла. Этим и пользуются на практике для приблизительного определения главного фокусного расстояния. Часто достаточно даже, отойдя со стеклом на десяток шагов от окна, получить отчетливое изображение оконной рамы на бумаге, которую держат позади стекла перпендикулярно к оси, а затем измерить расстояние ее от стекла.

252. Разбираясь в рисунках 272 и 273, мы можем притти еще к любопытному выводу. Поместим пламя свечи в том месте, где получилось уменьшенное его изображение: можно ожидать — и опыт это подтверждает, — что лучи пойдут обратно как раз по

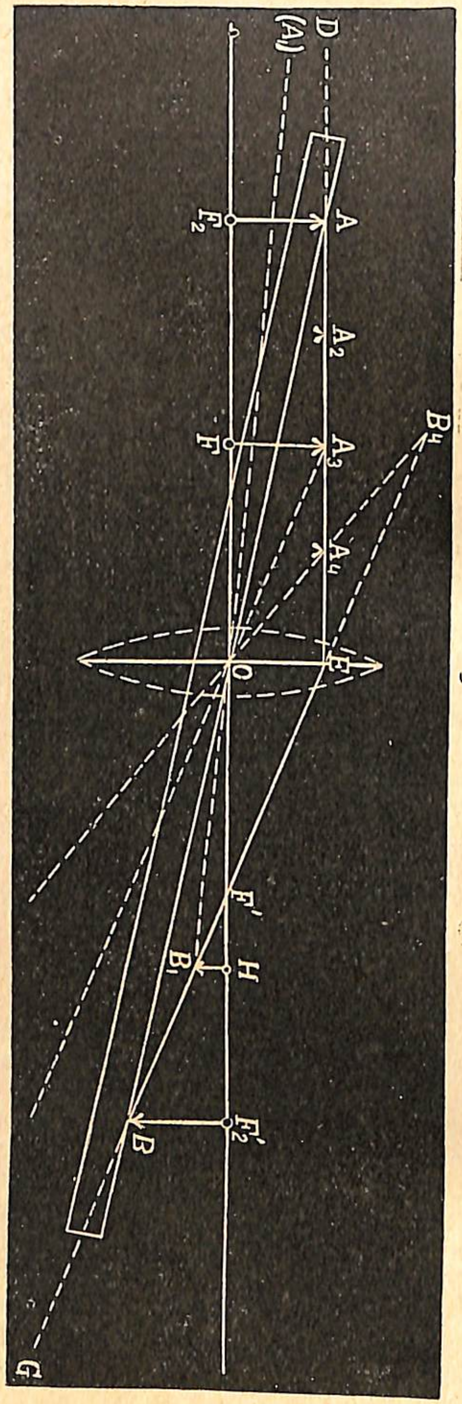


Рис. 274. $F_2FOF'F'_2$ — главная оптическая ось стекла. F и F' — главные фокусы. OF_2 и OF'_2 — двойные фокусные расстояния. Предмет AF_2 дает изображение BF'_2 равной ему величины. Это прямо видно, если приложить линейку, как указано на чертеже. При удалении предмета от стекла (точка A_1) изображение приближается, становясь в то же время меньше предмета (см. B_1H). При приближении предмета к стеклу (точка A_2) изображение удаляется и становится больше предмета. (Приложить линейку к точкам A_2 и O.) Когда предмет поместится на расстоянии главного фокуса (A_3F), прошедшие сквозь стекло лучи не встретятся; изображения не будет. При дальнейшем приближении предмета (точка A_4) лучи выйдут из стекла расходящимися: изображение будет мнимое прямое и увеличенное (точка B_4)

прежнему пути и, следовательно, соберутся в точках, из которых выходили, когда собирались в том месте, где теперь пламя. Изображения верхней и нижней точек пламени теперь окажутся больше отодвинутыми друг от друга, чем соответственные точки самого пламени: изображение выйдет обратное, увеличенное. Чтобы получить такое изображение, стоит только поместить пламя немного дальше фокусного расстояния стекла, но ближе удвоенного фокусного расстояния, а белый щит (экран) отодвигать от стекла до тех пор, пока не обрисуется отчетливого изображения пламени: в случае увеличенного изображения оно вместе со щитом будет за удвоенным фокусным расстоянием от стекла. После сказанного можно, пожалуй, догадаться — и это подтверждает опыт, — что изображение предмета, помещенного как раз на удвоенном фокусном расстоянии от стекла, получается на таком же расстоянии за стеклом и по величине равно предмету.

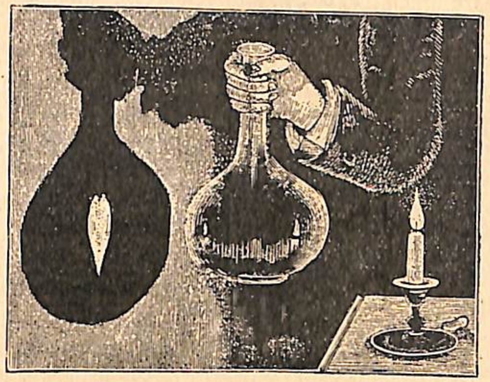


Рис. 275.

253. Итак, помещая предмет в разных расстояниях от собирательного стекла, мы можем по желанию получить его уменьшенное или увеличенное изображение на щите, которому надо только найти подходящее место по другую сторону стекла[1]). Для этих интересных опытов вполне пригодно стекло от стариковских очков, а предметом может служить не только пламя, но и хорошо освещенный рисунок на матовом стекле или промасленной бумаге. Недурное изображение пламени свечи можно также получить на стене с помощью наполненных водою колбы или шаровидного графина, как показывает рис. 275.

Двояковыпуклое сферическое стекло чаще всего называется «увеличительным» — название, происходящее от того, что рассматриваемые через него предметы, если глаз приставить к самому стеклу, кажутся увеличенными; к этому мы еще вернемся ниже.

Теперь несколько слов о двояковогнутом сферическом стекле. Из рис. 276-а видно, что оно походит на тело, соста-

[1]) На рис. 274 представлены, с описанием, все главные положения предмета и соответствующие им изображения.

вленное тоже из призматичных кусков, но которые сложены обратно тому, как в случае двояковыпуклого стекла, именно обращены вершинами внутрь, к средней — к самой тонкой — его части. Такое стекло разбрасывает в стороны, рассеивает падаю-

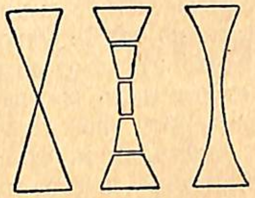


Рис. 276-а.

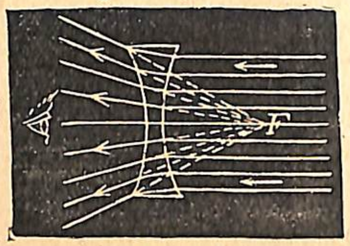


Рис. 276-б.

щие на него лучи (см. рис. 276-б) и изображений на щите не дает. Рассматриваемые сквозь него предметы кажутся уменьшенными. На объяснении мы не останавливаемся (с рассеивающим стеклом мы еще встретимся), а обращаемся к нескольким важным применениям собирательного стекла.

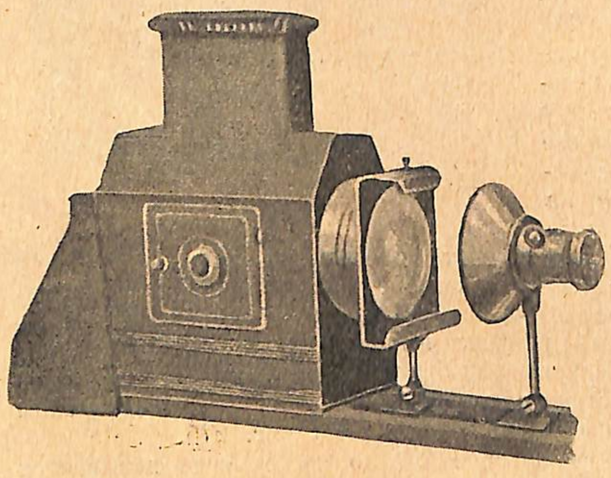


Рис. 277. Проекционный фонарь.



Рис. 278. Фотографический аппарат.

254. Всем известные увеличенные изображения картинок, которые дает «*волшебный*» или *проекционный* фонарь (рис. 277), получаются именно с помощью собирательного стекла. Собирательное стекло (составленное собственно из нескольких),

называемое «объективом» фонаря, вставлено в передвижную оправу, находящуюся спереди ящика, в котором скрыт источник света; свет направляется на картинку помощью другого собирательного стекла, «конденсатора» (т.-е. сгустителя). Чтобы рисунок выходил на щите в прямом виде, как надо вставлять картинку в фонаре?

255. Объектив *фотографического аппарата*, или фотографической «камеры» (рис. 278), есть также собирательное

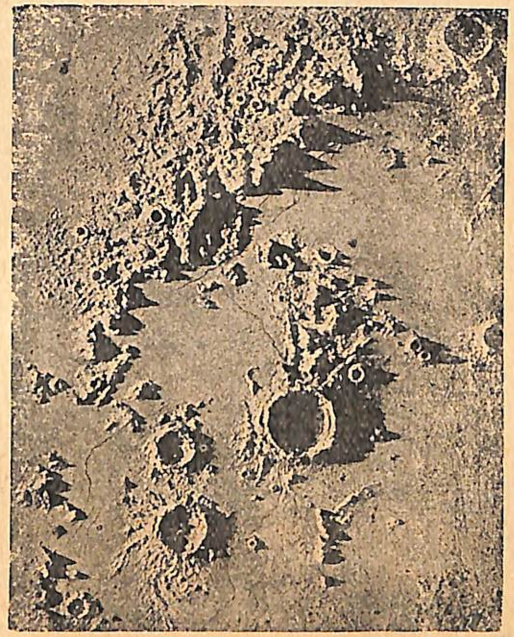


Рис. 279. Часть поверхности луны.

(тоже составное) стекло, дающее внутри ящика, на матовом стекле, отчетливое уменьшенное опрокинутое изображение предметов. Очень хорошие изображения можно получать с помощью того же очкового стекла, которым мы пользовались выше, вправив его в отверстие, сделанное в стенке ящика. Самое *фотографирование* состоит в том, что вместо матового стекла, получив на нем хорошее изображение, вставляют «светочувствительную» пластинку, покрытую такими веществами, которые от действия света разлагаются — сильнее или слабее в разных местах, смотря по степени их освещения лучами,

дающими изображение; таким образом, разные оттенки изображения, вырисовывающегося на пластинке, закрепляются на ней. Мы имеем здесь любопытный пример химического дей-

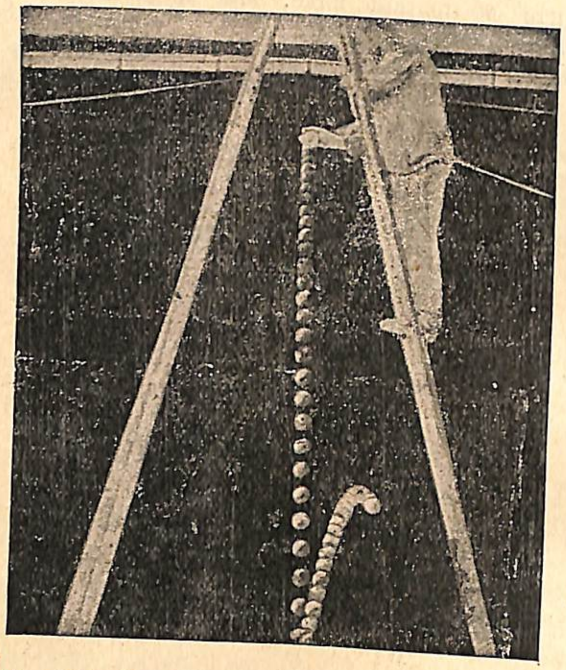


Рис. 280. Ряд моментальных снимков с падающего и потом отскочившего шарика, сделанных через малые, но одинаковые промежутки времени.



Рис. 281. Ряд моментальных снимков с падающей кошки.



Рис. 282. Молния.

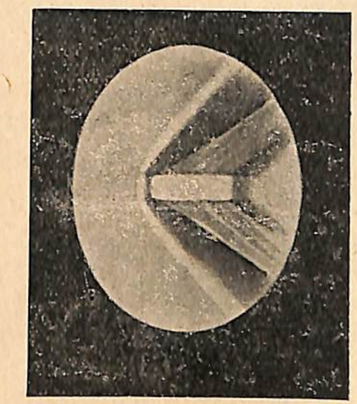


Рис. 283. Летящая ружейная пуля.

ствия лучистой энергии (в подробности фотографических приемов мы входить не можем). Применение фотографии далеко не ограничивается общеизвестными снимками портретов и видов: оно имеет множество важных приложений в науке и технике. Несколько примеров дано на рис. 279 — 283.

Обратим внимание на последний: на нем даже видны слои воздуха измененной плотности, которые окружают пулю. Идя дальше, достигли и того, что сфотографировали те уплотненные и разреженные воздушные слои, из которых состоят звуковые волны.

II. Глаз и зрение.

256. Пойдем дальше в рассмотрении чудес собирательного стекла. Его свойствами объясняется и то, что глазом мы не просто только воспринимаем свет, но именно видим, т.-е. раз-

личаем подробности предметов. В нашем зрительном аппарате, в глубине глазного яблока, заложены тончайшие разветвления «зрительного нерва», идущего к головному мозгу. Окончания этих разветвлений образуют тонкий слой, который называется сетчатой оболочкой или просто с е т ч а т к о й; в сильно упрощенном виде его можно представить себе состоящим из множества мельчайших участков нервного вещества (рис. 284), из которых каждый, чрез посредство одного из волокон зрительного нерва, сообщается с головным мозгом. Этими нервными окончаниями и воспринимаются раздражения, производимые энергией световых лучей. Но, чтобы раздражения воспринимались отчетливо — только тогда мы и можем различать подробности предметов, — нужно, чтобы лучи от каждой точки предмета возбуждали сразу только о д н о из окончаний нерва: лучи точки должны собираться в одной же точке — производить, так сказать, точечное впечатление. Это и достигается устройством глаза, которое в главных чертах похоже на устройство фотографической камеры. Лучи, входящие в глаз от какой-нибудь точки предмета, преломляются и собираются чрез посредство «роговой оболочки», или роговицы, как бы одной из сторон выпуклого стекла, ограничивающей глазное яблоко спереди. За нею поблизости они встречают хрусталик, прозрачное тельце, похожее по форме на двояковыпуклое стекло, которое продолжает дело роговицы (рис. 285 вверху). Зрение только тогда и будет отчетливо, когда лучи от какой-либо точки предмета после преломления в роговой оболочке и хрусталике попадут на сетчатку: глаз, что называется, должен быть нами каждый раз приноровлен или п р и с п о с о б л е н к расстоянию предмета.

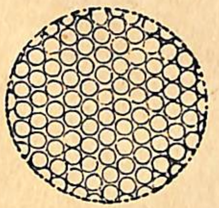


Рис. 284.

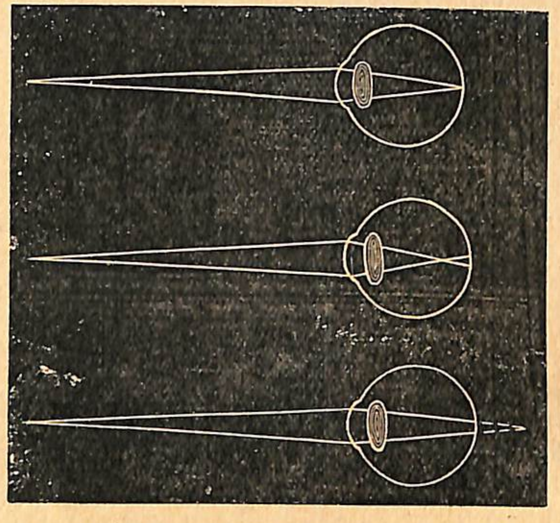


Рис. 285.

Это делается некоторыми привычными и потому обыкновенно неощутимыми движениями, одним из следствий которых является изменение кривизны поверхностей хрусталика: он становится то выпуклее (для меньших расстояний), то площе (для больших). Из двух нижних изображений рис. 285 видно, что если бы лучи собирались перед сетчаткой или дальше нее, то на сетчатке, вместо точки, получилось бы светлое пятнышко, которое захватывало бы несколько или много нервных окончаний, и очертания предмета были бы видны неотчетливо (расплывчато). Но понятно, что было бы еще хуже, если бы в глазу не было «собирающих» прозрачных тел, а было бы только плоское окошечко, чрез которое свет просто мог бы проникать внутрь; тогда лучи от точек внешнего предмета образовали бы на сетчатке светлые пятна (рис. 286), которые, налагаясь частями друг на друга, спутывали бы

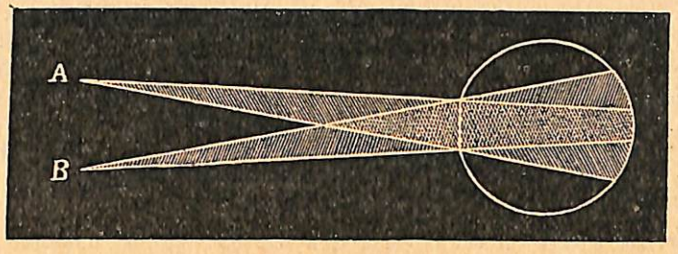


Рис. 286.

впечатления. Мы не могли бы «видеть» в точном смысле этого слова. Итак, благодаря устройству нашего зрительного аппарата, многочисленные окончания глазного нерва чрез посредство световых лучей сносятся с разными точками рассматриваемого предмета, как бы касаются их.

257. Мы видим предметы, приспособляя наше зрение, на разных расстояниях от глаза. «Хорошим» или «нормальным» (как бы образцовым) глазом можно считать такой, который: 1) ясно — и без всякого напряжения — видит предметы сколь угодно далекие (звезды), 2) без заметного усилия приспособляется к расстоянию в 25—30 *см* (10—12 дюйм), например при чтении обыкновенной печати; для краткости называют точку на таком расстоянии б л и ж н е й т о ч к о й н о р м а л ь н о г о глаза. Рассматривать ближе уже становится трудно, в особенности, если смотреть долго, а еще ближе — очертания предмета представляются неясными, расплывчатыми. В обоих крайних случаях я с н о г о з р е н и я — при смотрении вдаль и на расстоянии ближней точки — лучи собираются в нормальном глазу

как раз на сетчатке (рис. 285 сверху). В глазу близорукого лучи, которые исходят от точки, являющейся ближней для нормального глаза (25 — 30 *см*) собираются не на сетчатке, а перед нею, так что на сетчатке вместо точки получается пятнышко (рис. 285 посредине); чтобы привести изображение на сетчатку, надо придвинуть предмет к глазу (см. выше—рис. 274), только тогда он будет виден отчетливо. Противоположный близорукости недостаток (рис. 285 внизу) состоит в том, что лучи от ближней точки нормального зрения собираются за сетчаткой: предмет приходится отодвинуть, чтобы хорошо его видеть (обратимся опять к рисунку 274). Этот недостаток обыкновенно называется дальнозоркостью — выражение неудачное (у специалистов имеется другое, иностранное, трудно произносимое), потому что оно легко дает повод смешивать дальнозоркость, как недостаток — как неспособность рассматривать вблизи— с способностью «зоркого» глаза хорошо видеть вдаль. Дальнозоркость, о которой идет речь, — обычный спутник преклонного возраста, старческого ослабления глаз: старик, читающий газету без очков, далеко отодвигает ее от лица.

Из сказанного само собой вытекает та роль, какую играют *очки*. Взгляните на рис. 285 (средина), соответствующий близорукому глазу, и вы увидите, что привести изображение на сетчатку можно, сделав световой пучок в глазу менее сходящимся: для этого стоит только смотреть сквозь рассеивающее стекло, например двояковогнутое или плосковогнутое (см. разные образцы стекол на рис. 268). Наоборот, в случае дальнозоркого глаза (рис. 285) надо будет приставить к нему собирательное стекло, например двояковыпуклое или плосковыпуклое. Вот и все. Нужно, конечно, подобрать стекло соответственно мере уклонения глаза от нормы, т.-е. выбрать стекло с подходящей кривизной поверхностей: это и дается «нумером» очков [1]).

III. Лупа.

258. Теперь рассмотрим, как действует собирательное стекло, когда им пользуются в качестве увеличительного или лупы. Желая рассмотреть подробности предмета, мы подносим его

[1]) Нет ничего проще всякому увидеть, как именно изменяется действием очков изображение в глазу. Получив на бумаге, помощью собирательного стекла, отчетливое изображение пламени лампы или оконного переплета, отодвигают бумагу от стекла или придвигают, чтобы изображение стало расплывчатым (неясное зрение). Потом, приставив к этому стеклу еще другое подобранной кривизны, рассеивающее или собирательное (очки), снова приводят изображение на бумагу (ясное зрение).

как можно ближе к глазу: предмет и его части кажутся нам тогда больше, потому что его изображение занимает тогда больше места на сетчатке. Но его нельзя поднести ближе некоторой границы: лучи от точек предмета не соберутся на сетчатке (а сойдутся дальше нее), и изображение сделается расплывчатым. Вот тут-то и помогает собирательное стекло: оно сводит лучи, заставляет их сходиться в сторону оси — направляет их так, что они могут сойтись на сетчатке даже от предмета настолько близкого, что очертания его уже неясны. Каждый легко может удостовериться, что дело именно в этом. Приставьте лупу к самому глазу и держите за нею какой-нибудь рисунок или печатный значек так, чтобы видеть его по возможности большим и вполне ясно. Потом, не изменяя положения глаза относительно предмета, отнимите стекло: рассматриваемый предмет останется такой же величины, как казался чрез стекло; но только уже будет виден неясно. Вот в чем собственно назначение увеличительного стекла: оно дает возможность отчетливо видеть предмет настолько близкий, что простым глазом он уже виден неясно; кажущаяся же величина предмета становится больше просто от приближения к нему глаза. Пользуясь собирательным стеклом в качестве увеличительного, приходится помещать предмет за стеклом не как попало, а на расстоянии, меньшем его фокусного расстояния, — иначе цель не достигается, — и притом дальше или ближе, смотря по преломляющей способности глаза, т.-е. пользуется ли лупой близорукий или дальнозоркий [1]).

Увеличительное стекло можно заменить следующим простым приспособлением. В часовое стекло с шаровой поверхностью наливают почти до краев воды и смотрят сквозь нее на какой-нибудь недалеко за стеклом (не дальше фокуса) помещенный предмет: он представится увеличенным («плосковыпуклое стекло», рис. 268, второе слева) [2]). Увеличенные — более или менее искаженные по краям — изображения предметов можно также видеть, смотря на них сквозь шарообразный гладкий графин или колбу, наполненные водою.

[1]) Ход лучей в этом случае виден из рис. 274: A_4E и A_4O от точки A_4 придвинутой к стеклу близ его фокуса, после прохода сквозь стекло не собираются, а остаются расходящимися; но угол расхождения их уменьшается — они как бы выходят из точки $Б_4$, в которой глаз, смотрящий на предмет сквозь стекло, и видит изображение точки A_4.

[2]) А если то же стекло положить на воду в стакане, несколько вдавив в воду, то положенная на дно монета покажется уменьшенною («плосковогнутое» стекло, рис. 268, второе справа).

IV. Микроскоп и телескоп.

259. Сочетанием нескольких оптических стекол удалось построить приборы, посредством которых можно видеть предметы чрезвычайно мелкие и чрезвычайно далекие — *микроскоп и астрономическую трубу или телескоп*. Каждый из них состоит по меньшей мере из двух стекол: предметного стекла, или *объектива*, обращенного к рассматриваемому предмету, и глазного, или *окуляра*, в который смотрят. В случае микроскопа предмет mn (рис. 287) находится от объектива очень близко — на таком расстоянии, что по другую сторону стекла получается увеличенное его изображение, как в проекционном фонаре (§ 254); но это изображение не принимается на щит, а рассматривается через глазное стекло, играющее роль лупы так, что глаз видит изображение еще более увеличенным (M_1N_1). Таким сочетанием легко достигаются сильные увеличения. Положим, что изображение MN в 30 раз больше предмета mn, и что оно в лупу кажется еще в 10 раз больше: тогда изображение, которое видит глаз, представляется ему в 300 раз больше предмета. Во избежание недоразумений необходимо отличать л и н е й н о е увеличение от п л о с к о с т н о г о. Если сторону квадрата увеличить в 5 раз, то его площадь увеличится в 25 раз (рис. 288). Если «линейное» увеличение микроскопа — 300, то «плоскостное» будет $300 \times 300 = 90000$. Когда не сделано оговорки, под «увеличением» обыкновенно разумеют линейное. Увеличение в несколько сот раз легко достигается обыкновенными микроскопами для учебных целей. При серьезных работах пользуются увеличениями в 1000 и более раз.

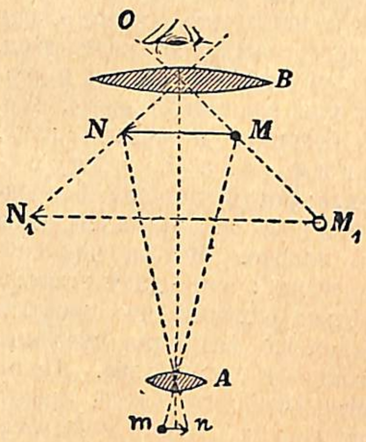


Рис. 287.

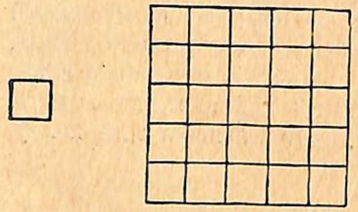


Рис. 288.

Объектив и окуляр микроскопа вставляются в одну общую трубку A, а предмет помещается на столике B (рис. 289) с отверстием, сквозь которое его надлежащим образом освещают зеркальцем C. Передвижением трубки (и винта D) изменяют расстояние объектива до предмета, пока не получится отчетливого изображения. Так как последнее достигается тогда, когда лучи собираются на сетчатке, то «установка» микроскопа на ясное изображение, конечно, связана со свойствами глаза: она будет неодинакова для нормального глаза, для близорукого и дальнозоркого. Для освещения малопрозрачных предметов сверху служит собирательное стекло E.

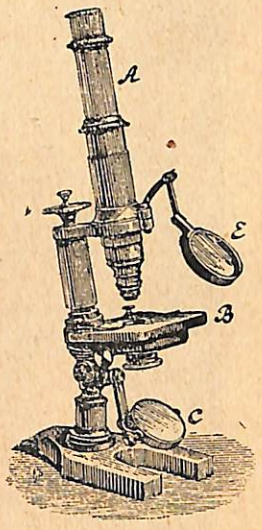


Рис. 289. Микроскоп.

260. Для рассматривания отдаленных предметов служат зрительные трубы. Объектив A трубы дает в фокусе уменьшенное обратное изображение mn предмета (рис. 290), которое и рассматривается чрез «увеличивающий» его окуляр B. Как видим, телескоп и микроскоп, при всем различии в назначении, имеют в устройстве много общего [1]). На рис. 291 изображен телескоп Пулковской обсерватории близ Ленинграда.

261. В действительности устройство микроскопа и телескопа гораздо сложнее, чем описано. Как предметное, так и глазное стекло на самом деле состоят из нескольких вставленных в общую оправу стекол. Разные другие подробности делают эти приборы

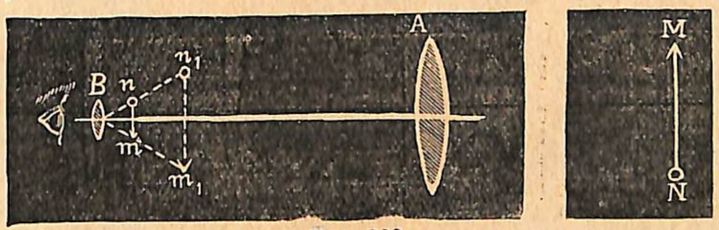


Рис. 290.

[1]) Простую модель телескопа и микроскопа легко устроить из двух надлежащим образом подобранных собирательных стекол. Особенно хорошо и просто удается модель астрономической трубы, увеличивающая раз в 5 и больше, из стекла от очков для дальнозоркого глаза и лупы. Чтобы хотя приблизительно судить об «увеличении» трубы, надо смотреть одним глазом в трубу, а другим — мимо трубы, на самый предмет (требуется небольшой навык): сосчитывая, сколько раз размер видимого простым глазом предмета умещается в соответственном его изображении, мы составим себе некоторое понятие об увеличении. Очень удобно смотреть, например, на бревенчатую или кирпичную кладку, где бревна или кирпичи служат как бы масштабом для отсчитывания.

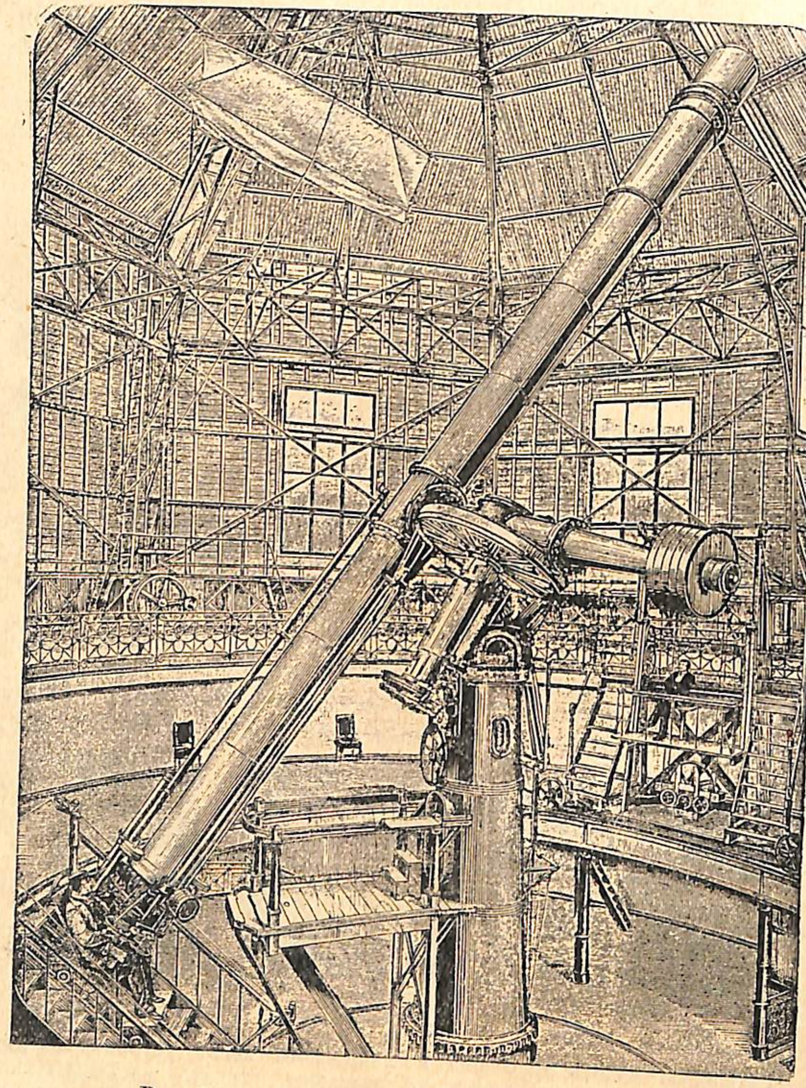


Рис. 291. Рефрактор Пулковской обсерватории.

еще более дорогими. Но в сущности каждый из них состоит из нескольких кусков стекла, известным образом отшлифованных и определенным образом расположенных один относительно другого. И сколько нового доставляет нам это сочетание стекол, благодаря вложенному в них уму и изобретательности человека!

Вооружение глаза оптическими приборами как бы обостряет этот орган наших чувств и тем сильно расширяет область доступного зрению. Уже в обыкновенный микроскоп хорошо видны так называемые красные тельца нашей крови, которых уместилось бы больше сотни на протяжении 1 миллиметра; в 1 куб. миллиметре (примерно объем капли, пристающей к острию иголки) их содержится несколько миллионов[1]).

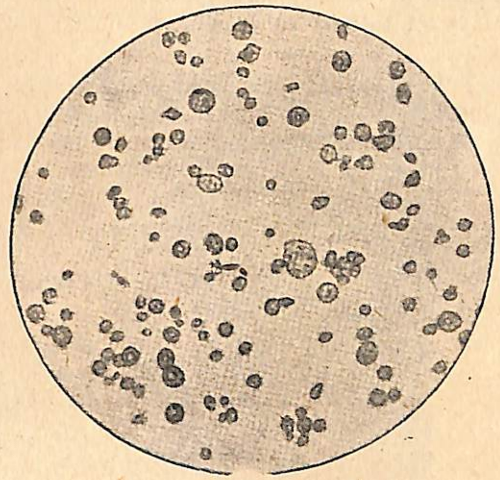


Рис. 292. Кровяные шарики (увел. в 200 раз).

Лучшие современные микроскопы показывают вполне раздельными две тонких черточки, находящихся в расстоянии $\frac{1}{7000}$ миллиметра, что примерно в 500 раз меньше толщины волоса с головы человека. Невооруженный глаз на наиболее близком расстоянии в 10 *см.* может еще различить две черты, отстоящие на $\frac{1}{40}$ *мм*; следовательно, микроскоп повышает чувствительность или восприимчивость нашего органа зрения почти в 200 раз.



Рис. 293. Часть звездного неба, как она представляется невооруженному глазу.

Некоторое понятие о том, в какой мере наш кругозор расширяется благодаря вооружению глаза астрономическими трубами, могут дать следующие примеры.

Планета Марс имеет два спутника, диаметр которых всего около 10 километров (около 9 верст), и, однако, присутствие их обнаружено с полною уверенностью, хотя планета со своими спутниками не бывает ближе 55 миллионов километров (50 милл. верст) от земли.

Хороший глаз может видеть на всем небе до $5^1/_2$ тысяч звезд. Общее же число звезд, которые еще видны в большие трубы нашего времени, достигает почти сотни миллионов.

[1]) На рис. 292, изображающем их увеличенными в 200 раз, это — те, которые кажутся как бы с кружечком внутри.

На рис. 293 и 294 изображена небольшая часть небесного свода (в созвездии Близнецов), как она представляется простому глазу, и в такой телескоп (с диаметром объектива в 27 *см*), который на обсерваториях отнесли бы к числу малых. Вместо 6 звезд можно тогда видеть более 3200.



Рис. 294. Та же часть звездного неба, как она представляется в телескоп.

Микроскоп и телескоп сделались мощными орудиями научного исследования; они открыли взору естествоиспытателей, можно сказать, два новых мира, исполненных живейшего интереса, а применение микроскопа к изучению жизни мельчайших существ (микроорганизмов) оказало кроме того неоценимую услугу делу лечения и предупреждения болезней.

Превосходным обыденным примером того, как даже простые оптические приспособления могут совершенствовать наши чувства,

служат очки. Для сильно близорукого весь ясно видимый мир ограничивается пространством, радиус которого всего несколько шагов; приставленный же к глазу кусочек отшлифованного стекла расширяет его кругозор до неопределенной дали.

Каждому известно, каким важным подспорьем в деле распространения образования и интереса к знанию сделался проекционный фонарь. Что касается фотографии, которая основывается на закреплении действительных изображений, доставляемых оптическим стеклом, то она успела расширить свою область далеко за пределы обыденного применения — сделаться одним из важнейших приемов научного исследования.

Упомянем, наконец, попутно и о замечательном приборе, который называется спектроскопом (с ним мы познакомимся впоследствии): он дает возможность сделать некоторые определенные заключения о химическом составе солнца и даже таких небесных тел, от которых световые лучи достигают до нас в сотни и более лет.

V. Об «оптических обманах».

262. Когда по каким-либо причинам мы видим предмет измененным по положению, величине или форме против действительности, мы говорим, что зрение наше «обманывается». Явления эти очень обычны, крайне разнообразны, и иногда трудны для объяснения. Но с простейшими из них мы уже имели дело выше. Таковы, например, случаи, когда положение и форма предметов, находящихся под водою, представляются нам иными, чем на самом деле (§ 241). Таково кажущееся смещение светил, на которые смотрят сквозь земную атмосферу (§ 241), кажущееся смещение предметов, рассматриваемых сквозь кусок стекла или призму (§§ 243 и 244). Наконец и «увеличенные» изображения предметов, которые мы видим в лупу или микроскоп, а также «приблизительные» изображения небесных тел, даваемые телескопом,—все это оптические обманы. Почему они происходят? Обыкновенно потому, что свет от предмета достигает глаза не по прямым линиям, как в однородной среде, а какими-либо обходными путями. Рис. 254 поясняет это, пожалуй, проще всего. Световой пучок от точки m попадает в глаз, изменив свое направление от границы между водою и воздухом, и собирается на сетчатке там, где сошлись бы лучи от точки m', если бы такая точка была здесь в действительности. Но глаз сам по себе ведь не может «рассуждать»: наш зрительный орган заключает о месте источника света только по положению его изображения

на сетчатке. Вот почему он и «обманывается». Собственно обманывается даже не самый глаз, а наше «суждение», основанное на зрительном впечатлении; ошибку зрительного суждения мы исправляем другим чувством — осязанием.

263. В плоском зеркале мы видим предметы, которых в действительности нет там, где они кажутся, т.-е. за зеркальной плоскостью. Вот вам оптический обман, к которому все так привыкли, что никто и не спрашивает о его причине: «зеркало» — значит, предмет в нем должен «отражаться»... (Кстати — говоря, что п р е д м е т «отражается», не злоупотребляем ли мы словом «отражение»?) Но, как видно хорошо из рис. 295, дело опять в том, что лучи от источника света достигают глаза не

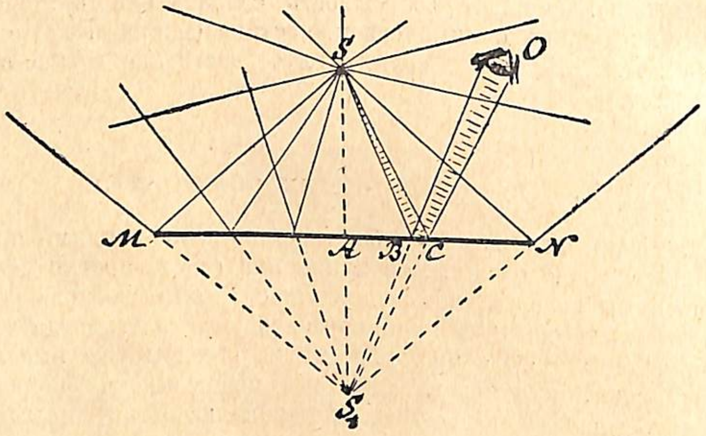


Рис. 295.

прямо, а в обход. Все лучи точки S, находящейся перед зеркалом, после отражения идут так, к а к е с л и б ы шли от точки S_1, лежащей за зеркалом прямо против S, на расстоянии $AS_1 = AS$. Где бы наш глаз ни помещался перед зеркалом — если только в него попадают отраженные лучи — он всегда будет находиться под впечатлением светового пучка, как бы исходящего из действительно существующей точки S_1 (на рисунке светлый пучок, попадающий в глаз O, особо отмечен штриховкой). Если бы мы поместили самый источник света в S_1, а в зеркале сделали бы прорез BC, то ведь пучок п р я м о г о с в е т а, воспринимаемый глазом, ничем не отличался бы от пучка отраженных лучей, посылаемых глазу точкой S, — если, конечно, не считать некоторого ослабления света вследствие неполного

отражения; изображение в обоих случаях падало бы на одну и ту же точку сетчатки (см. также рис. 296)[1]).

М е с т о и з о б р а ж е н и я за плоскостью зеркала можно, кроме чертежа, определить еще интересным опытом, объясненным на рис. 297. На зеркальных обманах основаны и другие забавы, которые можно очень разнообразить.

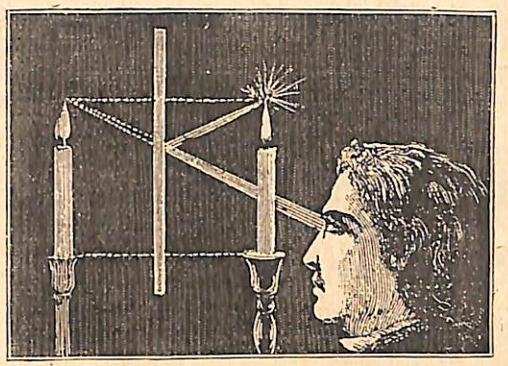


Рис. 296.

264. Изображения в роде только что разобранных называются к а ж у щ и м и с я или м н и м ы м и в отличие от д е й с т в и т е л ь н ы х, которые могут быть приняты в виде рисунка на щите: таковы, например, изображения, даваемые проекционным фонарем и фотографической камерой. Эти последние призводятся световыми пучками, действительно с х о д я щ и м и с я в определенных точках (где именно и ставится щит), тогда как в случае мнимых изображений пучки света остаются р а с х о д я щ и м и с я и собираются лишь на сетчатке: глаз видит источник света в точке, из которой к а к б ы выходят эти пучки[2]).

[1]) Нельзя не заметить, что происхождение зеркального изображения имеет не мало общего с сущностью того слухового обмана, который называется эхо; но только световое явление происходит с большею отчетливостью. В случае ударов или толчков по нашему телу мы также всегда ищем их причину в том направлении, по какому пришелся толчок. Так, если нам завяжут глаза и, подбросив мячик, дадут ему упасть нам на темя, то, основываясь на непосредственном ощущении, мы скажем, что он брошен сверху, хотя он, конечно, мог быть первоначально брошен и совсем иначе; только разбор внешних обстоятельств укажет нам, откуда именно мячик был брошен. Рассмотренные же нами зрительные (и слуховые) обманы отличаются тою особенностью, что от них мы не можем отделаться никаким разбором обстоятельств, никаким рассуждением.

[2]) Если предмет находится между несколькими зеркалами, то происходят многократные изображения, напоминающие по своему происхождению многократное эхо. Очень любопытны в этом отношении так называемые зеркальные лабиринты, т.-е. помещения, разгороженные многими зеркалами в различнейших положениях. Пробыв в таком лабиринте достаточно долго, посетитель настолько отучается доверять своему зрению, что, выйдя потом на улицу, не сразу приобретает обычную уверенность в движениях среди окружающих его предметов. От зеркальных изображений — один шаг до

265. Из числа оптических обманов, причина которых лежит в глазу, приведем следующий. Лучи светящейся точки сходятся на сетчатке глаза собственно не в одной точке, а образуют маленький световой кружок; поэтому края световой поверхности, граничащей с темной, кажутся распространяющимися за свои действительные очертания. На рис. 299 изображены два *одинаковой величины* квадрата: белый— на черном фоне и черный—на белом. Белый квадрат кажется больше черного. Явление известно под именем *иррадиации*. Разительный пример такой иррадиации нередко можно наблюдать на небе (см. рис. 227): яркий лунный серп кажется заметно большего диаметра, чем остальная часть лунного диска.

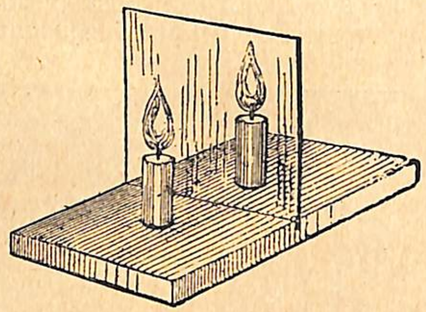


Рис. 297. По обе стороны стеклянной пластинки на равных расстояниях поставлены одинаковые свечные огарки. Когда зажигаем один огарок, нам кажется, загорается и второй.

объяснения замечательного явления *миража* (по крайней мере в простейших случаях), очень обычного в жарких степных местностях (см. рис. 298). Обыкновенно это следствие сильного нарушения однородности воздуха, нагреваемого горячей почвой. Лучи света, переходя из одних его слоев в другие, от некоторых пограничных поверхностей отражаются, как от совершенного зеркала (о чем уже упомянуто в § 242); в них, смотря с определенных мест, можно иногда видеть настоящие зеркальные изображения предметов, находящихся совсем в стороне. По поводу миражей кстати заметить следующее. От начальных уроков географии остается впечатление (по крайней мере такое осталось у меня), что это интересное зрелище — принадлежность только жарких подтропических пустынь. Между тем оно известно и жителям наших южных степных губерний. Когда я, проезжая в жаркий день по Таврической и Екатеринославской губерниям, впервые увидел мираж — озера на горизонте, которые на карте не значились, — я сперва был в полном недоумении. Но в одном месте наш поезд описал большую дугу, оставив после себя длинный ряд телеграфных столбов, ушедших почти до горизонта, и вот все далекие столбы оказались в воде. Только тогда я убедился, что имею дело действительно с миражем.

Упоминавшиеся выше (§ 238) увеличенные изображения в вогнутых зеркалах и уменьшенные в выпуклых объясняются подобным же образом: разница в том, что по отражении лучи идут иначе, чем отразившись от плоского зеркала. Если отражающая поверхность не плоская и не шаровая, а неправильная, то мы видим в ней изображения более или менее искаженными: таковы, например, изображения в плоских дешевых зеркалах, в разных частях поверхности блестящего самовара или нарочно изготовляемых для этого кривых зеркалах, могущих рассмешить даже самого угрюмого человека.

На ошибочном суждении основывается целый ряд оптических обманов, связанных с оценкою на глаз расстояния и величины предметов. Если мы видим A и B (рис. 300) под одним и тем же углом зрения, то изображения их на сетчатке будут одинаковой величины, и если мы не имеем возможности оценить расстояние предметов от нас, мы ничего не можем заключить об их действительной величине: они покажутся равными.

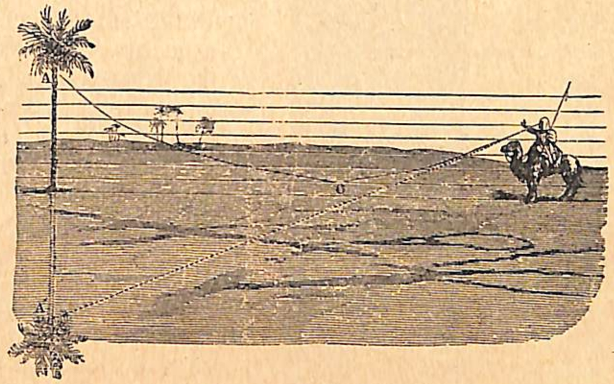


Рис. 298. Мираж.

Всякое раздражение сетчатой оболочки глаза световыми лучами исчезает не мгновенно, а длится приблизительно $^1/_{10}$ секунды после того как причина его исчезла. Поэтому движущийся предмет с просветами может показаться нам сплошным (быстро вращающееся колесо со спицами или зубцами); если быстро движется светящий предмет, то мы видим вместо него лишь световой след его пути (быстро перемещающийся по стене «зайчик» от лучей, отраженных зеркалом; искры, вылетающие из паровозной трубы на ходу поезда; так называемые «падающие звезды» и проч.). На этом именно свойстве нашего глаза основано применение весьма распростра-

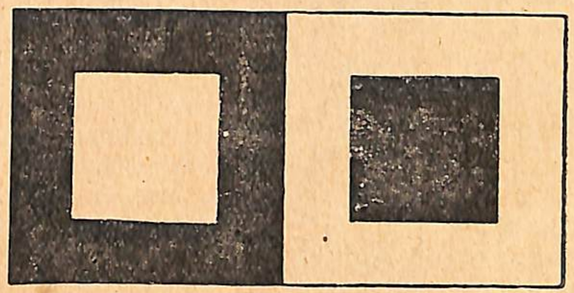


Рис. 299. Иррадиация. Белый квадрат кажется больше черного.

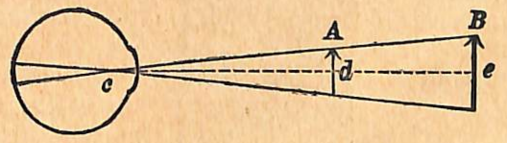


Рис. 300.

*



Рис. 301. Часть кинематографической ленты.

ненного *кинематографа*. Кинематографическая лента (см. рис. 301) представляет собою длинный ряд фотографических снимков, снятых очень быстро одни за другими с движущихся предметов. Когда эти снимки проходят перед зрителем на экране быстро друг за другом, создается впечатление непрерывного движения.

VI. Обзор.

266. Оптическими стеклами или чечевицами называются прозрачные тела, ограниченные сферическими поверхностями. Одни из них, как двояковыпуклые, собирают свет, другие, как двояковогнутые, его рассеивают.

Лучи, выходящие из светящейся точки, после двукратного преломления в собирательной чечевице, сходятся по другую сторону стекла в точке, называемой фокусом лучей. При лучах параллельных фокус будет главным. Расстояние от главного фокуса до стекла (главное фокусное расстояние стекла) имеет совершенно определенную величину для каждого стекла, его характеризует.

Если перед собирательным стеклом помещать на различных расстояниях светящийся или освещенный предмет, то за стеклом на щите, помещаемом в определенных местах, мы получим увеличенное, уменьшенное или равное по величине изображение предмета. Оно всегда будет перевернутым.

Действительного изображения (на щите) от рассеивательного стекла (например, двояковогнутого) получить нельзя.

Указанным свойством собирательного стекла мы пользуемся в проекционных фонарях (где имеются два

стекла — конденсатор и объектив) и в фотографической камере, объектив которой дает перевернутое изображение на светочувствительной пластинке.

Глаз по своему устройству подобен фотографической камере. Лучи, входящие в глаз от какой-нибудь точки предмета, преломляются через посредство роговой оболочки и хрусталика и собираются на сетчатой оболочке глаза, вызывая здесь раздражение окончаний зрительного нерва. Глаз обладает приспособляемостью к различным расстояниям предметов: путем изменения кривизны хрусталика изображения предметов, различно удаленных от глаза, получаются всегда на сетчатой оболочке. Нормальный глаз ясно и без всякого напряжения видит предметы сколь угодно далекие и без заметного усилия приспособляется к расстоянию в 25—30 см (ближняя точка). В глазу близорукого лучи от ближней точки собираются не на сетчатке, а перед нею, в глазу дальнозоркого—за сетчаткой. Роль очков—привести изображение на сетчатку. Для близорукого глаза берется рассеивающее стекло, для дальнозоркого – собирательное.

Лупа — собирательное стекло. При пользовании ею предмет помещается между стеклом и его главным фокусом. Смотря через лупу, мы видим не самый предмет (благодаря близости к глазу он простым глазом виден уже неясно), а его увеличенное изображение.

Микроскоп и телескоп состоят из предметного стекла — объектива, обращенного к рассматриваемому предмету, и глазного— окуляра, в который смотрят [1]). Как объектив, так и окуляр представляют обычно сочетание нескольких вставленных в общую оправу стекол. Микроскоп и телескоп сильно расширяют область, доступную зрению, и являются мощными орудиями научного исследования.

Явления отражения и преломления света часто приводят к «оптическим обманам». Зеркала и оптические стекла, кроме действительных изображений, которые могут быть приняты на щит, дают еще мнимые изображения (иногда, как, например, при плоском и выпуклом зеркалах и рассеивательной чечевице—только мнимые). При действительных изображениях лучи действительно сходятся в определенных точках, в случае мнимых изображений— остаются расходящимися: глаз видит источник света в точке, из которой как бы выходят пучки света.

[1]) Окуляр — это лупа, через которую рассматривается изображение предмета, даваемого объективом. В случае микроскопа предмет малых размеров помещается очень близко от микроскопа, при телескопе лучи идут от далекого предмета.

Мираж — следствие сильного нарушения однородности воздуха, нагреваемого горячей почвой. Лучи света, переходя из одних его слоев в другие, от некоторых пограничных поверхностей отражаются, как от зеркал.

Иррадиация — явление, связанное с тем, что лучи светящейся точки сходятся, строго говоря, не в одной точке, а захватывают и соседние части сетчатки. Поэтому белый квадрат на черном фоне представляется бо̀льших размеров, чем равный ему по размерам черный на белом фоне и т. д.

Много оптических обманов связано с оценкой на глаз расстояния и величины предметов. Например, представляются равными предметы разной величины, находящиеся на неодинаковых расстояниях, если только мы видим их под одним и тем же углом зрения.

Всякое раздражение сетчатой оболочки глаза световыми лучами исчезает не мгновенно, а длится еще некоторое время после того, как причина его исчезла (около $^1/_{10}$ сек.).

В этом обстоятельстве кроется причина ряда оптических обманов, на этом же свойстве глаза основано применение некоторых игрушек и кинематографа.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ.

Разложение света на цветные лучи. Спектральные цвета и звуковые тона. О невидимых лучах.

I. Сложность солнечного света.

267. Обратимся к тому красивому цветовому явлению, которое наблюдается при рассматривании предметов сквозь трехгранную призму (§ 101) и даже сквозь всякий граненый кусок стекла. Поставим призму на пути тонкого пучка солнечных лучей, а позади призмы — белый щит (рис. 302): вместо белого пятна мы получим тогда на щите полосу, составленную из множества ярких цветов, между которыми хороший (восприимчивый к цветовым тонам) глаз различает в особенности следующие семь: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. При том положении призмы, как на рис. 302, красный цвет будет внизу, а фиолетовый — наверху. Если повернем призму одним из преломляющих углов вверх, как на рис. 303

(тогда пришлось бы, конечно, направить солнечный свет на призму помощью зеркала), то и вся цветная полоса перевернется: фиолетовая часть опять окажется более отклоненною в *сторону основания* призмы, чем синяя; синяя более, чем голубая и т. д.; наименее отклоняется красная часть. Так или иначе взамен белого света получается полоса из *бесчисленного множества* цветов, незаметно переходящих один в другой. Эта цветовая полоса называется призматическим *солнечным спектром* [1]), а составные его цвета — спектральными цве-

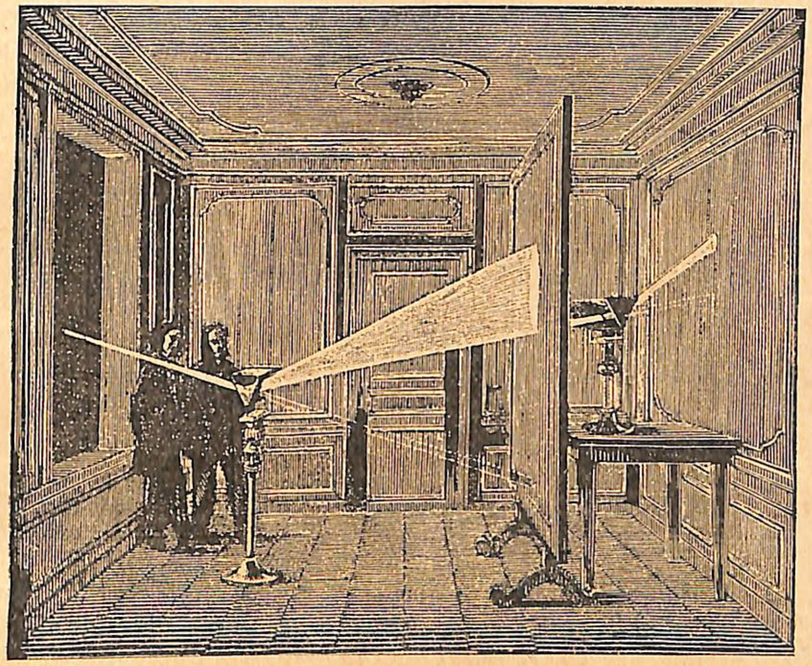


Рис. 302.

тами; никакие искусственные краски не сравняются с ними по яркости и красоте.

Откуда эти цветные лучи? Опыт показывает, что если снова соединить, смешать их, направив в одно место, то опять получается первоначальный белый свет. Для этого выходящие из призмы лучи принимают, например, на вогнутое сферическое зеркало

[1]) Слово «призматический» напоминает о происхождении спектра описанным здесь образом: спектр может быть получен и иначе.

(§ 237), перед которым держат кусочек белой папки. Передвигая папку дальше или ближе, можно получить на ней в том месте, где соберутся все спектральные лучи, *яркое белое пятно*. Или берут картонный кружок, разделенный на семь частей (секторов), которые раскрашены яркими красками, по возможности подходящими к главным цветам солнечного спектра. Кружок быстро вертят, осветив его хорошим дневным светом (или горящим магнием): впечатления отдельных красок смешиваются в глазу, и кружок кажется белым. Но надо иметь в виду, что цвета *красок*, даже самые «чистые», не тождественны со спектральными цветами, хотя бы и казались глазу одинаковыми; поэтому и смешение их описанным образом не дает вполне чистого белого.

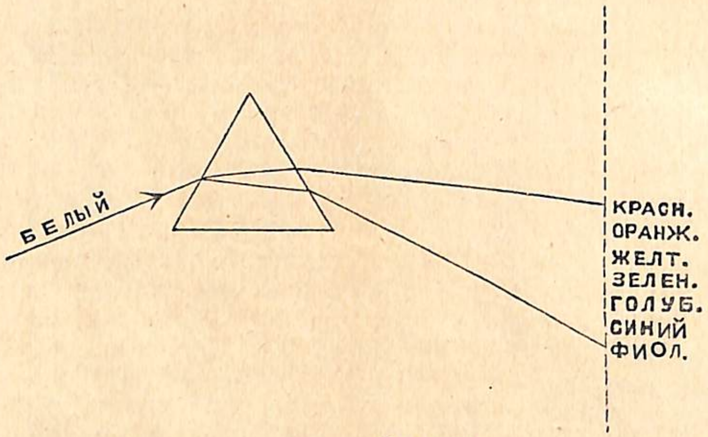


Рис. 303.

Итак, приходится заключить, как это ни странно с первого раза, что солнечный свет «состоит» из множества цветных частей. Но какова каждая из них? Нельзя ли ее разложить на новые составные части? Выделим из солнечного спектра узкую одноцветную полоску, например, красную, для чего сделаем в соответствующем месте щита тонкую щель, и вторично пропустим ее сквозь поставленную позади призму: цветной луч только преломится, но останется красным. *Очень узкие полоски* спектра можно считать далее не разлагающимися или *простыми* (о широких этого, конечно, сказать нельзя). В этом смысле и говорят, что *солнечный луч состоит из бесчисленного множества простых цветных лучей*. Чем они отличаются друг от друга *физически*, т.-е. помимо впечатления, которое они производят на глаз? Тем,

что они неодинаково преломляются материалом призмы: наибольшая «преломляемость» свойственна фиолетовому, а наименьшая — красному; в этом — причина, почему лучи, составляющие белый, разъединяются при проходе сквозь призму. Они разъединяются при всяком преломлении; но призма делает явление особенно заметным потому, что она дважды отклоняет лучи в одну и ту же сторону: при входе их в стекло и при выходе.

Обыкновенно спектральные цвета называют также радужными. Они действительно напоминают собою великолепное явление, которым всем нам не раз случалось любоваться, когда во время дождя проглянет низко стоящее солнце; но число и порядок радужных цветов не всегда такие же, как в спектральных. Кстати заметить, что цвета радуги происходят вследствие преломления и разложения солнечных лучей в дождевых каплях. Не редкость видеть радужные цвета при надлежащем освещении также в брызгах водяной струи (фонтана или водопада).

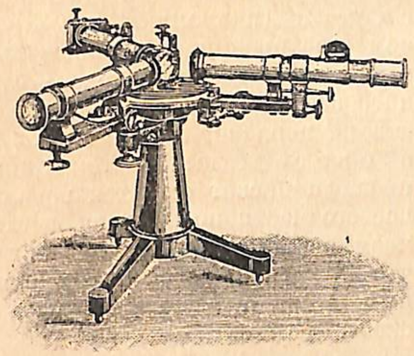


Рис. 304. Спектроскоп.

268. Трехгранная призма обнаружит нам сложность света и всех наших искусственных источников: стоит пропустить через нее, например, свет пламени свечи или лампы. Если свет недостаточно силен, то получающуюся цветную полоску приходится рассматривать вблизи: она очень похожа на спектр солнечного света; некоторые различия обнаруживаются только при более подробном изучении [1]. Для удобного рассматривания и изучения спектров даже слабых источников света устраиваются приборы, называемые *спектроскопами* (рис. 304). Главные составные части спектроскопа — трехгранная призма (или несколько призм) и оптические стекла, прибавка которых имеет назначение сделать спектр более отчетливым. Свет пропускается в прибор через узкую щель, имеющуюся у одного конца, проходит сквозь оптические стекла и призму и дает спектр, который рассматривается прямо через увеличительное стекло, а не принимается на щит. Много любопытного в отношении красоты и разнообразия естественных цветов можно наблюдать в такой прибор.

[1]) К дневному свету ближе всего, по сравнению с пламенем других твердых и газообразных материалов, подходит свет горящего магния.

II. От чего зависит цвет тел.

269. Если станем рассматривать в спектроскоп свет, посылаемый нашему глазу различными телами, от которых он отразился или через которые прошел, то обыкновенно увидим его измененным сравнительно с тем белым дневным, которым предметы освещены. В спектре света, отраженного от красной бумаги или прошедшего сквозь красное стекло, мы увидим почти что только красную часть, а в случае синей поверхности или синего стекла — главным образом синюю. Что это значит? То, что падающий на тела дневной свет, проникая к ним, р а з л а г а е т с я (припомним, что и «непрозрачные» тела в поверхностном слое проницаемы для света): часть его задерживается, поглощается веществом тела — отчего именно оно более или менее нагревается — и только остальная, отразившись или пройдя насквозь, попадает в наш глаз. Вот по этому остатку мы и судим о ц в е т е тела. В том лишь случае, когда отраженный или прошедший свет остается неизмененным в составе — потому, что все его части подверглись поглощению в одинаковой мере — тело является для нас белым, бесцветным. Надо, впрочем, заметить, что совершенно бесцветных тел нет; тело, кажущееся бесцветным в тонком слое, является окрашенным, когда свет проникает сквозь достаточно толстый слой его. Самая чистая вода, например, оказывается тогда г о л у б о г о цвета.

За неимением спектроскопа — прибора довольно дорогого — можно кое-что уяснить себе в этом отношении и другими наблюдениями: 1) Пламя спирта окрашивается в желтый цвет прибавкою обыкновенной соли: в состав ее входит металл натрий, раскаленные пары которого и придают пламени желтую окраску. Если на это желтое пламя будем смотреть сквозь кусок желтого стекла, то яркость пламени не изменится сколько-нибудь заметно; но если возьмем синее стекло, то желтый свет пламени будет им задержан, и мы увидим сквозь него только синее пламя спирта, которого, кстати сказать, сквозь желтое стекло совсем не видно. 2) Посмотрим сквозь цветные стекла на куски цветной бумаги; возьмем, например, красную и синюю и такого же цвета стекла. Красная бумага сквозь синее стекло (при надлежащем подборе оттенков) покажется почти черной. Почему? Потому, что синее стекло пропускает очень мало красных лучей, которые именно преобладают в свете, посылаемом красной бумагой. Точно так же синяя бумага кажется почти черной сквозь красное стекло, потому что последнее сильно задерживает как раз те лучи (синие), которых больше всего посылает нам синяя поверхность.

3) Наложим красное стекло на синее и посмотрим сквозь них на дневной свет: если цветовые оттенки стекол хорошо подобраны, то такое двойное стекло покажется нам почти черным, как бы закопченным. Положим, к окну было обращено синее стекло: из дневного света оно пропускает главным образом синие лучи, которые и задерживаются красным стеклом — до глаза почти ничего не доходит.

Б е с ц в е т н ы м, как было упомянуто выше, мы назовем прозрачное тело тогда, когда поглощение им составных частей падающего на него света не влияет на цветовое ощущение, производимое остающимися лучами. Такое поглощение можно назвать «б е з р а з л и ч н ы м» в отличие от «избирательного», с которым связана цветность тел.

Вот несколько простых наблюдений над так называемыми непрозрачными телами: 1) Направим солнечные лучи или рассеянный дневной свет (или же от яркой лампы) на лист цветной бумаги так, чтобы отраженные ею лучи падали потом на белую бумагу: последняя осветится в цвет взятой нами окрашенной бумаги. 2) Если получим на белой стене «спектральный зайчик» от пропущенного сквозь граненое стекло солнечного света (за неимением призмы годятся попадающиеся иногда трехгранные стеклышки от украшений люстр и подсвечников) и внесем в него узенькую полоску цветной бумаги, то сразу заметим, что цвет ее совершенно разный в разных частях спектра. Красная бумага останется такой лишь в красных частях: в средних частях спектра она темнеет, а в синей кажется почти черной. Красная краска поглощает именно более преломляемые лучи предпочтительно перед другими: поэтому, находясь, например, в синей части, красная бумага почти не посылает лучей нашему глазу — делается «черной». Произведя опыт с полоской синей бумаги, увидим, что она будет очень темной в менее преломляемых лучах (красных, оранжевых, желтых), — лучах, которые предпочтительно поглощаются синей краской. Подобное же изменение можно хорошо наблюдать, освещая цветную бумагу цветными источниками света: светом сильной лампы, пропущенным сквозь цветные стекла, или же так называемыми бенгальскими (фейерверочными) огнями. 3) Наконец, и рассматривание цветной бумаги сквозь цветные стекла приводит к тому же выводу, т.-е., что в рассеянно-отраженных лучах, посылаемых окрашенною поверхностью нашему глазу, преобладают лучи того цвета, какою нам представляется эта поверхность.

Б е л а я поверхность — такая, которая не изменяет цвета лучей после их отражения. И в самом деле белая бумага, освещаемая синими лучами, будет синего цвета, при освещении

красными — красною. Дневной (белый) свет, отразившись от такой бумаги, сохраняет свой «спектральный состав» — остается белым.

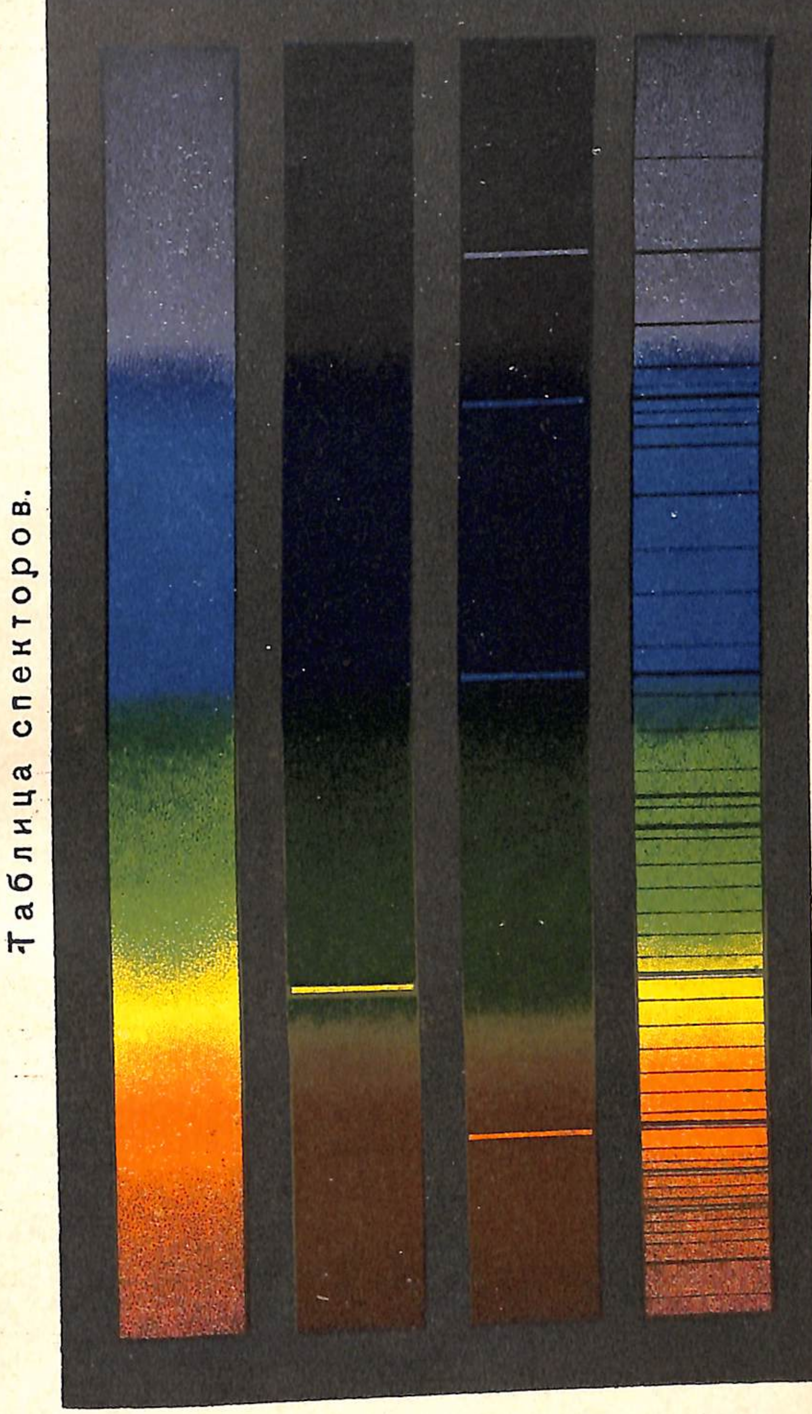
Всякий знает из повседневной жизни, как цвет предметов может изменяться при переходе от дневного света к вечернему освещению свечами или лампами. Очень резко бывает, например, изменение голубого цвета материй в зеленый; это объясняется следующим образом. Голубая краска обыкновенно отражает («рассеивает») не только голубые спектральные лучи, но в меньшей степени также соседние с ними синие и зеленые. В свете лампы напряженность синих лучей относительно меньше, нежели в солнечном; поэтому в отраженных голубою краскою лучах синяя часть будет слабее при вечернем освещении, чем при дневном, зеленый станет заметнее. Известно также, как изменяется цвет предметов (весь «колорит» местности) при освещении лунным светом, светом зари или заревом пожара.

270. Итак, цвет тел зависит как от свойств самого тела, так и от рода освещающих его лучей. Мы привыкли считать «настоящими» цветами тел те, которые они имеют при хорошем дневном освещении. Но эти цвета, как мы видим, теснейшим образом связаны с составом солнечного света. Если бы в нем не было одного из главных спектральных цветов, например, красного, то все предметы, которые пропускают или отражают (рассеивают) предпочтительно красные лучи, при дневном освещении были бы темными. Напротив, если бы земля освещалась однородным красным светом, то нынешние «красные» предметы выиграли бы от этого в яркости, но зато бо́льшая часть других были бы темными. Разнообразие цвета тел — следствие сложности солнечного света и различного отношения тел к цветным лучам. Все вообще богатство красок в нашей природе обусловливается бесконечным разнообразием цветных лучей, входящих в состав солнечного света.

III. Каким образом можно судить о природе тела по испускаемому им свету.

271. Мы уже упоминали, что спектр пламени свечи, если не входить в подробности, очень похож на солнечный, но только гораздо слабее: это спектр света, испускаемого раскаленными частичками угля в пламени. Таков же спектр всякого достаточно раскаленного твердого или жидкого тела. Любопытные

Таблица спекторов.



Раскаленное твердое или жидкое тело. — Пары натрия. — Водород. — Солнце.

Хромо-Литография „Печатный Двор“, Ленинград.

изменения происходят со спектром раскаленных твердых (и жидких) тел при изменении температуры последних. Мы знаем, например, что железо, когда оно только-что накалится до самосвечения, кажется темно-красным. Если тогда принять его свет в спектроскоп, то можно видеть в спектре почти что только одну красную часть: остальные еще отсутствуют. Но по мере того, как цвет железа, с возвышением температуры, становится ярко-красным и белым, в спектре появляются мало-по-малу все остальные лучи, так что, наконец, при температуре сильного белого каления железо испускает свет, подобный (но не вполне тождественный) солнечному. То же относится до света, испускаемого всяким другим твердым телом или жидким (например, расплавленным стеклом, чугуном), которое подвергается все более и более сильному накаливанию. Отсюда мы видим еще раз, что при совместном действии на глаз всех спектральных лучей от красного до фиолетового получается ощущение белого света [1]).

Совсем не такой свет излучают раскаленные газы и пары. Спектры их состоят из узких цветных полосок, разделенных темными промежутками: они испускают лучи только определенных оттенков, остальных совсем или почти совсем не дают. Разнообразие их поразительно (см. таблицу спектров): если одни спектры содержат только одну цветную полоску (спектр желтого пламени раскаленных паров натрия) или три - четыре (спектр водорода), другие содержат тысячи полосок различных оттенков (спектр паров железа). Но замечательно, что каждому раскаленному газу определенного химического состава соответствует и определенный спектр.

Отсюда получаются выводы первостепенной важности. По виду спектра можно сделать заключение о том, в каком состоянии находится раскаленное тело и какие простые элементы входят в его состав. Если в спектре содержатся сплошь все цвета от красного до фиолетового, то свет идет, вообще говоря, от твердого или жидкого тела; если он состоит из отдельных тонких цветных полосок, то—от раскаленного газа или пара. Что же касается химического состава, то о нем можно судить, тщательно сравнивая изученные уже спектры раскаленных тел в газообразном состоянии со спектрами тех тел, состав которых хотят узнать. Этот прием отличается поразительною «чувствительностью»: наблюдением спектра удается открыть следы некоторых

[1]) Но для ощущения белого света нет необходимости во всех цветах спектра: белый свет можно получить и чрез смешение двух простых спектральных лучей, подобранных надлежащим образом.

веществ, настолько ничтожные, что их нельзя было бы обнаружить самым кропотливым химическим исследованием (химическим «анализом»). Грамм — около $1/4$ золотника, миллиграмм — тысячная часть грамма; но и миллионные доли миллиграмма (и даже меньше) некоторых веществ могут быть обнаружены помощью спектроскопа.

Другое применение того же самого приема открывает перед нами область, в которой совершенно бессильно что-либо сделать прямое химическое исследование. Мы ведь можем судить о составе раскаленного тела (газа или пара) на расстоянии, не нуждаясь в образчике его для исследования в лаборатории. Притом для получения спектра почти безразлично, находится ли световой источник у самого спектроскопа или сколь угодно далеко от него: нужно лишь, чтобы свет от источника попадал в прибор.

Следовательно, мы имеем здесь *средство судить о химическом составе тела, которое само по себе может быть для нас недоступно*. Но таково именно солнце, таковы другие самосветящиеся небесные тела. Спектроскоп (когда нужно, прилаженный к астрономическим трубам) позволяет сделать с полною уверенностью кое-какие заключения о простых веществах, находящихся на солнце и на телах звездного мира, удаленных от нас большею частью на неизмеримо большие расстояния. Вопрос о том, находится ли данное тело в твердом или жидком, или же в газообразном состоянии, иногда также решается спектральными наблюдениями.

Описанный выше прием, с некоторыми добавлениями, о которых здесь было бы неуместно распространяться, получил название *спектрального анализа*.

В главе тридцать первой, говоря о телах небесного мира, мы сообщим кое-какие результаты первостепенной важности, добытые многочисленными и тщательными спектральными исследованиями.

Как видим, спектроскоп открыл науке огромную новую область, полную захватывающего интереса и, добавим, указал на *единство* химического состава всего доступного нашим наблюдениям мира. Таковы результаты научной пытливости, направленной на столь всем известное явление, как радужный зайчик, производимый куском граненого стекла...

IV. Спектральные цвета и звуковые тона.

272. Выражение «цветные тона» недаром применяется при отличении различных цветовых оттенков. Ряд спектральных цветов имеет нечто общее с рядом тонов гаммы, и физики открыли

замечательное сходство в самом их происхождении. Мы знаем, что тон тем выше, чем чаще колебания звучащего тела (§ 212). Мы знаем также, что физики видят причину световых ощущений, производимых на наш орган зрения разными лучами, в некотором колебательном движении, доходящем до нас от источника. И вот вдобавок оказывается, что то или иное *цветное* ощущение зависит от быстроты или частоты этого колебания: наименее быстры колебания, соответствующие красному цвету, наиболее быстры те, которые производят ощущение фиолетового.

Опытами найдены некоторые любопытные крайности в соотношениях между частотою колебаний тонов разной высоты, т.-е. между соответствующими им числами колебаний в 1 секунду. Для нас важно заметить себе лишь следующее. Тон, который называется в учении о звуке ближайшей высшей *октавой* какого-нибудь взятого нами, соответствует ровно *вдвое большему* числу колебаний в секунду; малейшая разница против этого уже ощущается хорошим слухом как «диссонанс» (расстройство созвучия) [1].

Если применить эту мерку к ряду цветов или тонов солнечного спектра, то оказывается, что область доступных нам световых ощущений гораздо уже, чем звуковых. Крайнему фиолетовому цвету соответствует *почти двойное* число колебаний в секунду—сравнительно с крайним красным—это отвечает неполной октаве. Но далее в области звука найдено вот что. Когда число колебаний в секунду становится очень велико, ухо перестает воспринимать их, как и колебания слишком медленные. Про низшую границу мы уже говорили, что она соответствует, приблизительно, 20 (полным) колебаниям в 1 сек. Высшая граница, которая определена еще менее точно, — около 40000 колебаний в сек. [2]). Колебания менее быстрые, чем 20 в секунду, и более быстрые, чем 40000 в сек., уже не звук для нашего уха.

В световых явлениях найдено нечто сходное. Существуют колебания менее быстрые, чем те, которые производят в нас, чрез посредство глаза, ощущение красного цвета, и более быстрые, чем те, которые соответствуют фиолетовому цвету: они уже не воспринимаются нами, как свет.

[1]) Клавиатура рояля начинается с тона «ля» и содержит семь октав. Самому низкому тону соответствует $27^3/_{16}$ колебаний в секунду, тону первой октавы $27^3/_{16} \times 2$, потом $27^3/_{16} \times 4$ и т. д., а самому высокому $27^3/_{16} \times 128$ (т.-е. $27^3/_{16} \times 2^7$), или 3480. Тон «ля», соответствующий нормальному камертону с 435 колебаниями в секунду ($27^3/_{16} \times 16$), приходится на 4-ю октаву.

[2]) Слуховые органы разных людей заметно различаются по способности слышать наиболее высокие тона. Например, некоторые, имея вообще хороший слух, не слышат мышиного писка или звука, издаваемого сверчком.

V. О невидимых лучах.

Тогда как колебания, не воспринимаемые нами как звук, сколько известно, не представляют сами по себе ничего замечательного, те колебания, о которых теперь идет речь, напротив, открыли физикам обширную новую область «невидимых лучей»; эта область далеко оставила за собой промежуток в неполную октаву, который доступен нашему зрению. Насколько интересны раскрывающиеся здесь явления, непосвященный в дело может понять хотя бы из того, что, например, главным образом на действии невидимых лучей основана фотография, основаны способы просвечивания внутренностей организма, при хирургических операциях (Рентгеновы лучи); еще одно из «чудес» нашего времени— телеграфирование без проводов — теснейшим образом примыкает к области невидимых лучей. Если бы попытаться удовлетворить любознательность несведущего по этой части вполне доступным изложением, то пришлось бы, по меньшей мере, удвоить книгу.

273. От раскаленной железной полосы, вынутой из горна, распространяются «световые» волны, т.-е. такие колебания, которые возбуждают наш зрительный нерв и воспринимаются нашим мозгом как свет. Когда железо остывает, свет его все более и более приближается к красному, т.-е. такому, которому соответствуют наименее быстрые «световые» колебания. Но вот оно охладилось настолько, что в темноте уже не видно. Перестали ли его молекулы колебаться? Застыли ли они в неподвижности? Конечно, нет; ведь мы уже не раз говорили, что молекулы тела всегда находятся в движении, и что энергия этого движения— теплота. Вот это колебательное движение частичек продолжает распространять волны в окружающее пространство; будучи медленнее тех, которые еще воспринимаются нами как свет, эти волны не действуют на сетчатку нашего глаза, но возбуждают наши кожные нервы и производят в них ощущение т е п л а. Приблизьте руку или щеку к горячему утюгу — и вы почувствуете действие этих колебаний, недостаточно быстрых, чтобы стать «видимыми». Вы, быть может, подумаете, что это тепловое ощущение происходит просто от теплого воздуха, окружающего утюг. Ничуть не бывало: ведь теплый воздух быстро уносится вверх, а вы, держа руку сбоку, все же ощущаете тепло. Поместите между рукою и утюгом кусок папки — и ощущение тепла тотчас исчезнет: вы «заслонили» руку от этого действия, как заслоняете лицо от света солнечных лучей. Но разве можно заслониться от нагретого воздуха? Попробуйте распустить зонтик в горячей бане: вам от этого, наверное, не станет прохладнее.

От всякого нагретого тела именно расходятся невидимые глазу волны. Волны, испускаемые солнцем, производят в глазу ощущение света, а в кожных нервах—ощущение тепла; таковы же и лучи всякого тела, раскаленного до самосвечения. Колебания недостаточно быстрые, чтобы производить ощущение света, еще воспринимаются нами как тепло. Если бы существовал глаз иного устройства, чем наш, то он, может быть, тоже воспринимал бы их как свет—и тогда видел бы цвета, о которых мы не имеем никакого понятия. (Конечно, то же самое относится и до звуковых восприятий слуховым органом.)

Пойдем теперь в другую сторону и спросим: что же представляют собою колебания более быстрые, чем те, которые воспринимаются нами как лучи фиолетового цвета? Такие колебания тоже существуют: они не столь заметны по своим тепловым действиям, сколько по некоторым другим; например, они именно, главным образом, производят выделение серебра из веществ, которыми



Рис. 305. *С*—область видимых лучей, *У—Ф*—ультрафиолетовых и *И—К*—инфракрасных лучей.

покрыта фотографическая пластинка, и обусловливают ее почернение. Самые быстрые из ныне известных колебаний довольно свободно проходят сквозь непрозрачные или малопрозрачные для света тела, это — волны, соответствующие замечательным лучам Рентгена.

274. Мы уже знаем, что преломление света, например солнечного, в трехгранной призме производит как бы разъединение световых действий или, говоря иначе, разложение света на лучи разных цветов, различной преломляемости. Наблюдение показывает, что солнечный спектр далеко не ограничивается только видимой цветной полосою, а распространяется на значительное расстояние, как за красный, так и за фиолетовый концы. Таким образом призма обнаруживает существование лучей, менее преломляющихся (в веществе призмы), чем красные, и более преломляющихся, чем фиолетовые. Первые, соответствующие более медленным колебаниям, чем красные, называются за-красными (или инфракрасными) лучами, а вторые за-фиолетовыми (или ультрафиолетовыми). На рис. 305 представлено, какую часть занимают видимые лучи и как велики области инфракрасных и ультрафиолетовых лучей.

Распространение, отражение и преломление невидимых лучей следует тем же правильностям, тем же законам, что и видимых;

они, в большей или меньшей степени, поглощаются телами, нагре-
вая их или производя в них химические изменения; но они не
возбуждают нервной ткани (сетчатки) нашего глаза. Их можно,
если угодно, назвать и «темными лучами».
275. Опыты с темными лучами требуют вообще довольно
сложных приспособлений: нужны особенные приемы, чтобы про-
следить их ход помимо непосредственного зрения, которое тут
бессильно. Мы опишем лишь несколько простых наблюдений
над тепловым действием видимых лучей — лучей, испускаемых
солнцем и пламенем, в дополнение к тому, что сказано в §§ 236
и 250 о тепловом действии солнечных лучей. Что касается
нагревания тел лучами, то оно очень различно, ибо связано
с различною способностью тел поглощать лучи: чем сильнее они
их поглощают, тем большая доля энергии лучей идет на увели-
чение энергии движения молекул, а в этом и состоит нагревание.
Вот несколько наблюдений, обнаруживающих различное нагре-
вание тел солнечными лучами.
Всякий знает, что для защиты от солнечного тепла прибегают
к белой одежде. Но белая поверхность есть именно такая, кото-
рая отражает сравнительно много падающих на нее солнечных
лучей и мало поглощает. Если выставим на солнце два столовых
стакана с одинаковыми количествами воды, обернув один белою,
другой—черной матовой бумагою, то по истечении некоторого
времени найдем, что в первом вода нагрелась менее, чем во
втором. Кусок льду, обернутый черной материей, под действием
солнечных лучей будет таять быстрее, чем такой же кусок, защи-
щенный от солнечного тепла белой материей. Подоконник, выкра-
шенный черной краской, нагревается солнечными лучами гораздо
сильнее, чем белый. В фокусе солнечных лучей, собранных
зажигательным стеклом, гораздо труднее зажечь белую бумагу
или материю, нежели черную. Полированная металлическая
поверхность (в особенности серебряная), как хорошо отражаю-
щая солнечные лучи, также может служить щитом против их
теплового действия. Чистое оконное стекло менее нагревается
солнечными лучами, нежели загрязненное, которое в большей
мере задерживает лучи.
В о з д у х, особенно в верхних частях атмосферы, очень про-
зрачен для солнечных лучей, т.-е. поглощает лишь небольшую
долю их, а потому мало нагревается ими (он заимствует теплоту
главным образом от нагретой поверхности земли). Однако, так
как солнечным лучам приходится пронизывать воздушную обо-
лочку значительной толщины, то тепловое их действие по дости-
жении земли заметно ослабевает. Считают, что при отвесном
падении лучей не менее $^2/_5$ задерживается атмосферой. Чем

косвеннее падают лучи на землю, тем более толстый слой воздуха им приходится проходить, и тем значительнее ослабевает их тепловое действие: каждый знает, как слабо греет солнце, когда оно находится близ горизонта.

Большою прозрачностью воздуха для видимой части солнечных лучей объясняется то, что они могут нагреть ртуть термометра гораздо выше температуры окружающего воздуха; бывает даже, что при морозном воздухе термометр на солнце показывает несколькими градусами выше нуля. Действительную температуру в о з д у х а мы узнаем, если заслоним чем-нибудь непрозрачным термометр от солнечных лучей, и если самый термометр не находится около стены, которая была нагрета солнцем. Как часто в житейском обиходе смешивают температуру самого термометра с температурой окружающего воздуха [1]).

Припомним, кстати, несколько наблюдений с термометром против топящейся печки, описанных в § 173. Мы имеем здесь дело главным образом, как упомянуто в предыдущем параграфе, с действиями волн и колебаний более медленных, нежели те, которые соответствуют видимым лучам с за-красными лучами спектра.

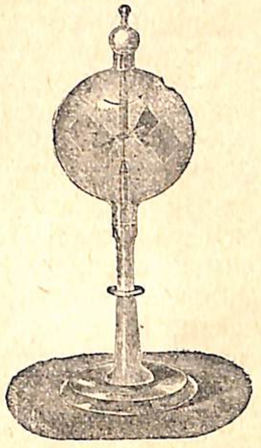


Рис. 306. Радиометр.

На сильном поглощении за-красных лучей черною поверхностью основано действие р а д и о м е т р а Крукса,—любопытного прибборчика, служащего обычной приманкой окон оптических магазинов (рис. 306). Тонкие слюдяные крылышки, зачерненные с одной стороны, могут с очень малым трением вращаться около вертикальной оси в сосуде, содержащем сильно разреженный воздух. Если держать их против топящейся печки, осветить солнечным светом (даже хорошо рассеянным), поднести пламя свечи, сосуд с горячей водой или теплую руку, то крылышки начинают в е р т е т ь с я, и именно незачерненною стороною вперед. Несомненно, что зачерненные поверхности, поглощая больше лучей, нагреваются значительнее, чем незачерненные. Следовательно, должен значительнее нагреваться и слой воздуха, соприкасаю-

[1]) Иногда в газетах можно прочесть извещение о «страшной» или даже «тропической» жаре в каком-нибудь из наших южных городов: термометр де в воздухе показывал до 40° по Реомюру. Но, конечно, это не была температура «воздуха», потому что самая высокая его температура в наиболее жарких частях Сахары, в тени, не выше 45° по Реомюру.

*

щийся с первыми, а это, согласно молекулярному учению, значит, что скорость движения газовых частиц с зачерненной стороны становится больше, нежели с другой. Более сильные удары частиц о первую и являются причиною вращения крылышек.

276. Различные вещества в очень различной степени поглощают лучи разного рода — сильно отличаются между собою по степени прозрачности для разных лучей (см. также § 269). Многие тела очень прозрачные в обычном смысле слова, т.-е. хорошо пропускающие видимые лучи, оказываются весьма мало прозрачными или совсем непрозрачными для за-красных лучей. Большая прозрачность стекла для видимых лучей и гораздо меньшая для невидимых за-красных находит всем известное применение в парниках: их стекла, свободно пропуская светлую часть солнечных лучей, задерживают темные лучи, испускаемые нагретой почвой. Нижние части земной атмосферы, богатые водяными парами, действуют сходным образом, так как они значительно менее прозрачны для испускаемых землею темных лучей, нежели для светлых солнечных.

Наоборот, есть тела, почти непрозрачные для световых лучей, и, однако же, весьма прозрачные для лучей темных. Сюда относится, например, роговой каучук (эбонит) [1]. Но особенно интересны опыты, которые можно сделать с раствором иода в жидкости, называемой сероуглеродом. Такой раствор — при достаточной толщине слоя—совершенно поглощает светлые лучи, но очень хорошо пропускает темные; если наполнить раствором полую внутри чечевицу (шарообразную колбу) и направить на нее пучок лучей солнца или электрического фонаря, то в совершенно невидимом фокусе лучей можно будет зажечь спичку или раскалить проволоку.

Темные за-фиолетовые лучи поглощаются многими телами, очень прозрачными в обычном смысле. Так, они сильно поглощаются стеклом. Воздух тоже задерживает значительное количество за-фиолетовых лучей.

Серебро прозрачно для за-фиолетовых лучей в очень тонком слое — однако, еще достаточно толстом, чтобы не пропускать видимых лучей, не «просвечивать». Пользуясь сильным химическим действием за-фиолетовых лучей на серебряные соли, можно, например, получать изображения на фотографической пластинке под действием невидимых лучей, прошедших сквозь непрозрачный для света тонкий слой серебра.

[1]) Это обнаруживается очень наглядно с помощью описанного в предъидущем параграфе радиометра: крылышки его вертятся под действием лучей лампы, заслоненной тонким листком эбонита

277. Разные источники сильно отличаются между собой по свойствам испускаемых ими лучей. Очень важное значение имеет здесь температура источника. Пока температура тела не довольно высока, оно испускает преимущественно темные за-красные лучи (ощущение тепла рукою, которую держат около самовара или утюга). При температуре около 500° Ц. излучение видимых лучей становится уже настолько сильным, что тело является для нас «светящим» — начинающееся темно-красное каление. С дальнейшим повышением температуры становятся мало-по-малу видимыми лучи и остальных частей спектра. Около 1200° Ц. совокупность испускаемых телом лучей производит на глаз впечатление «белого» цвета (белокалильный жар); при этом и невидимые за-фиолетовые лучи достигают значительной напряженности. При еще более высокой температуре, с усилением всего лучеиспускания, область доступного наблюдению спектра еще расширяется. Чрезвычайно высокая температура солнца обусловливала бы гораздо большее богатство солнечного спектра ультра-фиолетовыми лучами, если бы значительное количество последних не задерживалось земной атмосферой.

Затем состав испускаемых лучей зависит и от рода излучающего вещества, как по отношению к видимым лучам (различная цветность световых источников), так и невидимым. Горящий магний испускает, например, много за-фиолетовых лучей; связанное с этим сильное действие на фотографическую пластинку дает возможность делать моментальные снимки с предметов, освещаемых магниевой вспышкой.

278. Теперь сделаем еще шаг. Припомним, как относительны выражения: горячий, теплый, холодный. Кипяток «горяч»—это значит, что его температура гораздо выше температуры нашего тела. Лед «холоден», потому что его температура значительно ниже нашей собственной. Но если оставить на время наши ощущения в стороне, то можно сказать, что тающий лед тепел или горяч по отношению к другому телу, температура которого ниже 0°.

С помощью твердой углекислоты легко достигается, например, температура в—100° Ц. Относительно тела, имеющего эту температуру, лед при 0° столь же «горяч», как кипяток—относительно льда. Весьма естественно ожидать, что тепловое действие, вызываемое излучением, присуще не только телам более теплым, чем наш организм, но исходит от всякого предмета.

Действительно, всякое тело, как бы низка ни была его температура, испускает во все стороны неуловимые для глаза колебания—невидимые лучи; но «напряженность» лучеиспускания тем больше, чем более тело нагрето. Иначе

говоря, чем выше температура тела, тем больше теплоты оно дает в течение данного времени (например, одной минуты) в окружающее пространство. Между всякими двумя телами A и B (рис. 307) происходит некоторое тепловое взаимодействие: то тело, температура которого выше (положим A), отдает другому (B), температура которого ниже, больше теплоты, чем само от него получает, и потому A охлаждается; напротив, B, получая от A больше теплоты, чем само отдает ему, нагревается. Таким образом, температура тел стремится к выравниванию. Тела могут при этом находиться на любом расстоянии, и указанный обмен происходит без того, чтобы между ними находилось какое-нибудь *третье тело*, способное передавать теплоту. Вот несколько явлений, поясняющих сказанное.

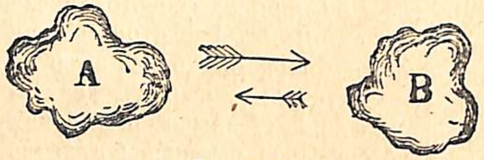


Рис. 307.

279. Наша собственная температура вообще выше температуры тел, находящихся в жилой комнате; поэтому наш организм непрерывно теряет чрез лучеиспускание (и другими путями) больше теплоты, нежели получает от окружающих предметов (постоянное развитие теплоты в организме поддерживается чрезвычайно сложными внутренними явлениями). В этом обмене должно существовать некоторое привычное равновесие. Когда оно нарушено, нам становится или жарко, или холодно. Так мы зябнем, когда в комнате становится холоднее привычного. Но то же ощущение может получиться и при воздухе достаточно теплом. Когда зимой мы входим в только что натопленное помещение, которое долго не отапливалось,—нам холодно, хотя термометр, помещенный где-либо внутри комнаты, может показывать обыкновенную комнатную температуру. Отчего это? Оттого, что *не прогрелись еще стены* комнаты, и наше тело теряет *чрез лучеиспускание*, путем теплового обмена с ними, непривычное количество теплоты. Напротив, под раскаленной солнечными лучами железной крышей нам может быть невыносимо жарко, хотя бы помещение проветривалось сравнительно свежим воздухом. Точно так же нас охватывает ощущение тепла, когда мы проходим около каменной стены, которая была сильно нагрета солнцем.

Возьмем кусок льду и будем держать против него на небольшом расстоянии термометр. Ртуть в нем начнет опускаться, но не потому, чтобы теплота его передавалась льду чрез посредство воздуха, ибо воздух—очень дурной проводник теплоты; кроме того, охлажденный льдом воздух направляется вниз, как более тяжелый.

Между термометром и льдом происходит тепловой обмен чрез *лучеиспускание*, и термометр охлаждается, так как отдает льду больше теплоты, чем получает от него в то же самое время.

Невидимые лучи, при посредстве которых происходит этот тепловой обмен, *отражаются*, например, от полированной металлической поверхности, подобно тому как отражаются солнечные лучи. Можно замедлить охлаждение тела, сделав так, чтобы испускаемые им лучи отчасти снова возвращались к нему чрез отражение. Опустим руку в цилиндрическую жестянку с блестящими внутри стенками: мы тотчас почувствуем тепло (как бы при погружении руки в тепловатую воду); это происходит оттого, что испускаемые рукою лучи, частью отразившись от стенок сосуда, возвращаются руке, и потеря ею теплоты чрез лучеиспускание замедляется.

Напомним здесь еще раз, что темные лучи, испускаемые телами при сравнительно низких температурах (когда тела еще не начинали светиться, вследствие накаливания), состоят главным образом из тех, которые преломляются в трехгранной стеклянной призме менее красных, из так называемых *за-красных или инфракрасных* лучей.

280. Лучеиспускание при всяких температурах—причина того, что *тепловой обмен всегда и всюду происходит между телами* (даже на громадных небесных расстояниях); поэтому температура тел стремится к выравниванию. В окружающей нас земной обстановке тепловой обмен осложняется еще другими явлениями: в нем большею частью одновременно участвуют и лучеиспускание, и перенос теплоты течениями, и теплопроводность. В разных случаях может преобладать то одно, то другое. С изменяющимися обстоятельствами, между прочим, очень изменяются и условия охлаждения нашего тела, которые сильно отзываются как на наших ощущениях, так и на нашем здоровьи.

По указанным причинам нагретое или охлажденное (сравнительно с окружающими) тело *нельзя вполне защитить от потери теплоты наружу или притока ее извне*. Нельзя предотвратить рассеяния теплоты.

Вот как область нашего знания о лучах расширяется приемами научного исследования. Не стремясь во что бы то ни стало удивить нашего читателя, мы скажем, что и это еще не все! Область «лучей» далеко не ограничивается тем, что доставляют собственно спектральные исследования. Она обнимает собою и другие явления, сближающие между собою разные отделы физики, в частности—учения о *свете и электричестве*. На почве этого сближения и открыт замечательный способ теле-

графирования без проводов, основанный на свойствах так называемых «электрических волн», малою частью которых являются «световые»... *Глазу нашему непосредственно доступна лишь очень небольшая — можно даже сказать, ничтожная — часть всех известных ныне лучей.*

281. Мы упоминали выше, что видимая область цветов спектра, по частоте соответствующих им колебаний, обнимает несколько меньше октавы. Но мы не говорили, какое именно число колебаний в секунду отвечает крайним, еще видимым лучам—красным и фиолетовым. Здесь мы встретимся с числами, громадность которых поражает воображение. Миллион—тысяча тысяч; миллион миллионов мы называем биллионом. И вот найдено, что крайнему красному цвету соответствует 400 *биллионов колебаний в секунду*, а крайнему фиолетовому—750 биллионов[1]). Не правда ли, числа, от которых непривычный только отмахнется? Но они покажутся уже не столь устрашающими, если мы припомним кое-что другое. Если бы мы захотели выразить *в миллиметрах* путь, пробегаемый световыми волнами в 1 секунду, т.-е. 300000 *км*, то получили бы уже 300 тысяч миллионов (300 миллиардов). Расстояние земли от солнца (150 миллионов *км*) составило бы 150 биллионов миллиметров. А расстояния не очень удаленных от нас звезд выражаются числами в сотни биллионов, даже если принять за единицу обычные километр или версту. То, что в случае световых колебаний мы имеем дело с сотнями биллионов их в секунду, значит только, что для этих колебаний слишком велика общепринятая единица времени — секунда. Для природы же ничто ни велико, ни мало: мера существует только для нас, исследующих необъятную природу, и основная мера всего—мы сами и то, к чему мы привыкли.

VI. Обзор.

282. Солнечный луч состоит из бесчисленного множества цветных, среди которых обычно различают семь: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. Эти простые лучи, входящие в состав сложного, солнечного, можно получить, пропуская тонкий пучок солнечных лучей через трехгранную призму, которая разлагает белый луч вследствие разной преломляемости цветных лучей (наименее преломляемые красные,

[1]) Для сравнения, быть может, интересно заметить, что самые быстрые воздушные колебания (типа «звуковых»), которые удалось получить, соответствуют слишком 3 миллионам в секунду.

наиболее преломляемые фиолетовые). На щите, поставленном за призмой на пути лучей, образуется цветная полоса—спектр.

Если простые лучи вновь соединить, то получается первоначальный белый цвет.

Трехгранной призмой можно обнаружить сложность света и всех искусственных источников света.

Для изучения спектров служат особые приборы, называемые спектроскопами. В них, кроме трехгранной призмы, имеются зрительные трубы.

Цвет тел зависит как от свойств самого тела, так и от рода освещающих его лучей. Белая поверхность —такая, которая не изменяет цвета лучей после их отражения. Бесцветное прозрачное тело не изменяет состава прошедшего через него света. Поверхность или прозрачное тело представляются нам окрашенными в те или иные цвета, в зависимости от той части лучей, которая, отразившись или пройдя насквозь, попадает в наш глаз. Цвет тел меняется при переходе от дневного к искусственному.

Спектр всякого раскаленного твердого или жидкого тела состоит из всех цветов от красного до фиолетового. Спектры раскаленных газов и паров состоят из узких цветных полосок, разделенных темными промежутками.

По виду спектра можем судить, в каком состоянии находится раскаленное тело, и какие элементы входят в его состав. Здесь мы имеем дело с так называемым спектральным анализом. Этот прием исследования, отличающийся поразительною чувствительностью и позволяющий судить о химическом составе тел, для нас самих по себе часто недоступных, является одним из могучих средств современной науки.

Как высота тона зависит от числа колебаний звучащего тела, так и цветные ощущения зависят от частоты колебаний, имеющих место в источнике света.

Найдено, что крайнему красному цвету соответствует 400 биллионов колебаний в секунду, а крайнему фиолетовому 750 биллионов. Но непосредственно доступна нашему глазу лишь очень небольшая часть всех ныне известных лучей и, кроме видимого света, существует еще обширная область «невидимых лучей». За красными лучами лежат инфракрасные лучи, за которыми идут электрические. За фиолетовыми лучами находятся ультрафиолетовые, а за ними лучи Рентгена. Все эти лучи могут, подобно лучам видимого света, отражаться и преломляться. Разные источники сильно отличаются между собою по свойствам испускаемых ими лучей. Играет роль и температура, и род излучающего вещества. Различные вещества в очень различной степени поглощают лучи разного рода.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ЧЕТВЕРТАЯ.

Магнитные явления.

I. Магнитное притяжение.

283. Кому случалось иметь дело с магнитом, тому он, конечно, доставлял немало удовольствия: точно живой, он тянет к себе железные предметы. Природный магнит или магнитный железняк встречается местами в больших количествах, целыми скалами, например, у нас на Урале; это—железная руда, идущая для выплавки железа, но отличающаяся той особенностью, что она притягивает железные опилки или мелкие железные гвозди (рис. 308). Ее знали еще в древности. Полагают, что самое название «магнита» произошло от древнего малоазиатского города Магнезии, около которого находили «магнитный камень». Про это «чудо природы» сложились целые сказания. В настоящее время магниты делаются искусственно из стали; для опытов они более пригодны, между прочим, потому, что они сильнее естественного магнита. Обыкновенно им придается вид бруска (палочки) или подковы (см. ниже рисунки).

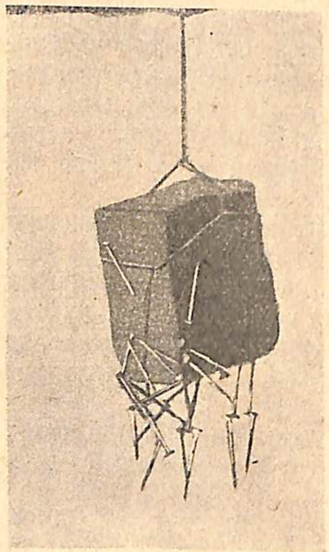


Рис. 308.

Стальной магнит притягивает железные гвозди, стальные перья, куски чугуна [1]), но не притягивает, например, меди, цинка, стекла, дерева. Кроме железа, магнит притягивает из металлов еще только никкель (белый нержавеющий металл, употребляемый для покрывания—никкелировки—самоваров и других металлических вещей). Притягивающее действие наблюдается не только при соприкосновении, но и на расстоянии. Притяжение между магнитом и железом взаимно: если, например, положить магнит на поплавок и держать на некотором расстоянии кусок железа, то магнит потянется к железу. Хороший (не ослабевший) подковообразный магнит висит на своем «якоре» (так называется прикладываемая к якорю железка), если последний держать в руке.

[1]) Сталь и чугун, это — железо в соединении с малыми количествами угля.

Магнит действует на расстоянии не только через воздух, но и сквозь многие другие тела, напр., бумагу,

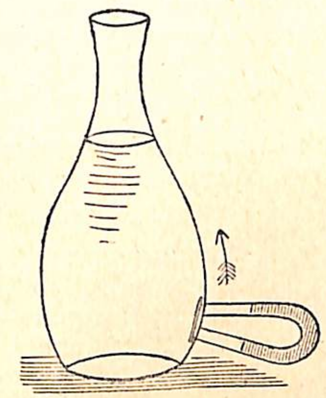


Рис. 309.

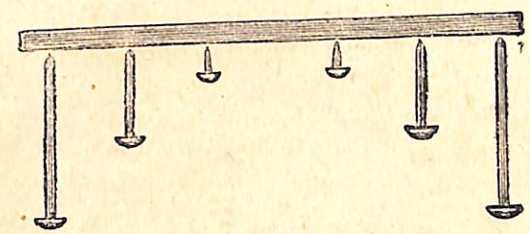


Рис. 310.

дерево, стекло. Можно заставить стальную иголку скользить по картону или дощечке, водя под ними магнитом. Тонкую иголку можно вынуть магнитом из склянки с водою (рис. 309). Сильными магнитами извлекают при операциях из-под кожи мелкие железные предметы.

284. Магнит притягивает железо сильнее всего близ своих концов; чем ближе к средине, тем притяжение слабее; средняя

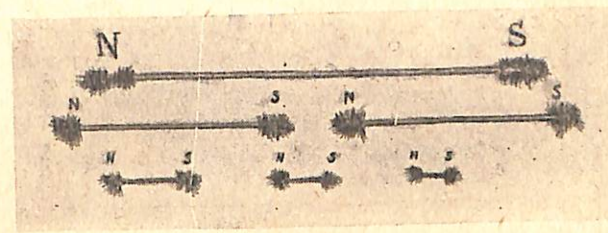


Рис. 311.

часть магнита не удержит даже самых маленьких гвоздиков (рис. 310). Если намагниченную вязальную спицу (или ее обломки) обвалять в железных опилках, то они пристанут кучками только у ее концов (рис. 311) [1]). Места, в которых магнитное притяжение всего сильнее, называются полюсами

[1]) Для этого спица должна быть намагничена правильно, о чем ниже.

магнита, а срединный пояс, где притяжения нет, и магнита нет — линией безразличия. Если магнитная полоска — длинная и тонкая, как, например, намагниченная вязальная спица, то полюсами ее можно считать две точки, лежащие неподалеку от ее концов.

II. Намагничивание железа и стали. Магнитная индукция. Взаимное действие магнитов.

285. Кусок железа, находящийся вблизи магнита, даже не касаясь его, сам становится магнитом, намагничивается и, в свою очередь, может намагнитить (хотя уже слабее) другой кусочек железа. Так, к магниту можно подвесить целый ряд железных предметов (см., например, рис. 312), а к подковообразному — замкнутую цепочку из гвоздиков или крючков жести (рис. 313). Железные опилки пристают к магниту кучками или бородками (как на рис. 311 — 314) потому именно, что каждая крупинка железа временно становится магнитом. По устранении магнита железо размагничивается.



Рис. 312.

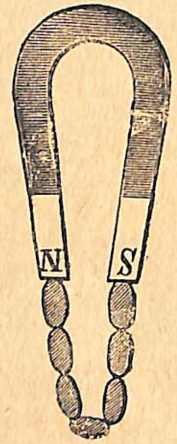


Рис. 313.



Рис. 314.

286. Последнее относится, впрочем, до чистого мягкого (хорошо отожженного) железа. Железо более твердого сорта сохраняет в себе заметный остаток намагничения. Закаленная сталь,

раз будучи намагничена, остается в этом состоянии, с небольшими потерями, неопределенно долгое время [1]). Магниты, с которыми мы делаем наши опыты — «постоянные» магниты — изготовлены именно из закаленной стали.

Чтобы правильно намагнитить стальную вязальную спицу (или стальную полоску, рис. 315), натирают ее от средины к концам отдельными концами магнита: одну половинку одним концом, другую другим (почему так, — скоро увидим), и при том одинаковое число раз. Намагнитив, обваляем спицу в железных опилках, чтобы видеть, пристают ли они только у концов, как должно быть, если спицу удалось намагнитить правильно.

Надо заметить, что, при намагничивании железа и стали, магнетизм отнюдь не переходит к ним от магнита, как

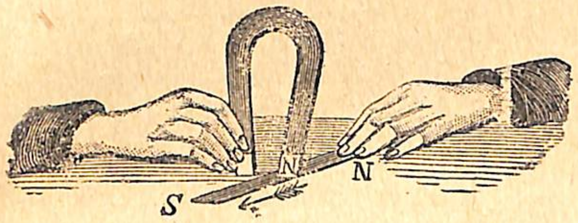


Рис. 315.

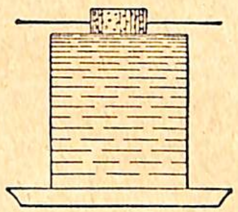


Рис. 316.

передается, например, теплота от нагретого тела к холодному: магнит, даже после намагничения многих спиц, почти не ослабевает. Действием магнита лишь каким-то образом возбуждается уже скрытая в железе магнитная способность. Самое явление поэтому носит и особенное название: намагничивание чрез индукцию или чрез «влияние».

287. Научившись, таким образом, приготовлять «постоянные» магниты, мы можем узнать о них еще много нового. Укрепим две намагниченные полуспицы (для нижеследующих опытов они удобнее, чем длинные цельные) на поплавках из пробки так, чтобы они удерживались горизонтально, когда пробки пущены в наполненные водою стаканы (как на рис. 316). Поставим

[1]) Разные сорта железа, стали и чугуна отличаются, главным образом, различным содержанием угля: всего больше его в чугуне (2 — 5%), меньше в стали (от $1/2$% до 1%), а железо содержит его обыкновенно не больше $1/4$%. Сталь «докаливают», нагревая ее в огне и быстро охлаждая (например, водою). Тогда она делается твердой и упругой; напротив, медленно охлажденная — «отожженая» — сталь мягка, как железо, и в этом виде легко обрабатывается инструментами. Подобные же изменения несколько заметны и на обыкновенном железе, в зависимости от быстрого или медленного изменения после накаливания.

стаканы поодаль один от другого и дадим спицам успокоиться. Посмотрите, как настойчиво они принимают параллельное друг другу направление: как бы вы их ни повернули, они, после нескольких качаний, опять возвращаются в прежнее положение. Вы легко заметите, что один конец успокоившейся спицы указывает на север, другой—на юг. Это будет и со всяким магнитным бруском, если только установить его достаточно подвижно в горизонтальном положении. Отсюда концы (полюсы) магнита получили каждый особое название: указывающий на север называется северным, на юг—южным полюсом. На магнитах полюсы обыкновенно помечаются буквами *N* (север, иностранное — Nord) и *S* (юг,—Süd). Легкий заостренный к концам магнит, имеющий посредине шляпку, которою он горизонтально положен на острый шпенек, носит название магнитной стрелки (рис. 317). Как известно, магнитная стрелка—главная составная часть компаса (рис. 318)—прибора очень важного в мореплавании и землемерном деле.

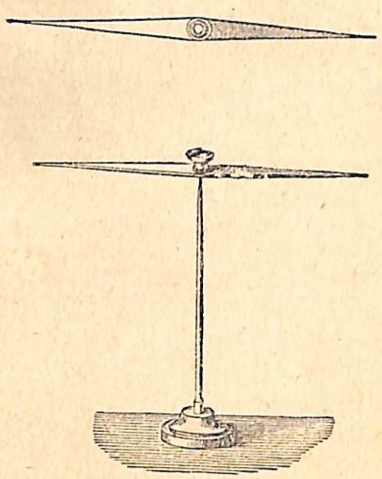


Рис. 317.

Пометив на наших магнитных полуспицах северный и южный полюсы (например, бумажками разного цвета), мы можем сделать новое наблюдение. Если будем подносить попеременно концы одной из полуспиц, держа ее в руке, к концам другой, свободно поворачивающейся на поплавке, то увидим, что концы разного наименования (т.-е. *N* и *S*) притягиваются, концы же одинакового наименования (т.-е. *N* и *N*, *S* и *S*) отталкиваются! То же самое найдем, поднося к полюсам подвижной спицы концы магнитного бруска. Не правда ли, одно «чудо» следует за другим! Но ведь все новое, необычное, всегда как-то особенно привлекает и поражает нас...

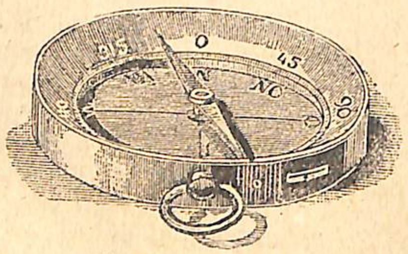


Рис. 318. Компас.

Научившись намагничивать, как сказано, вы можете приготовить себе из спиц более сильный магнит. Намагнитьте несколько (5—6) тонких вязальных спиц (цельных), сложите их вместе одноименными полюсами в одну сторону и крепко свяжите концы суровой ниткой (рис. 319). При тщательном намагничивании спиц такой составной магнит будет мало уступать по силе продажным (очень дорогим) магнитным брускам той же длины.

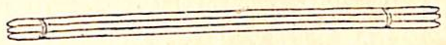


Рис. 319.

III. Магнитная стрелка и ее применения.

288. Магнитной стрелкой может служить для наших опытов не только обыкновенная, имеющаяся в продаже (рис. 317), но и стрелка, изготовленная, например, из стального пера (рис. 320), а всего проще — укрепленная на пробочном поплавке намагниченная полуспица (рис. 316). Для наблюдений вблизи годится и стрелка маленького компаса.

а) С помощью магнитной стрелки тотчас отличим маленький железный или стальной предмет среди других, например, железную булавку или пуговицу между медными.

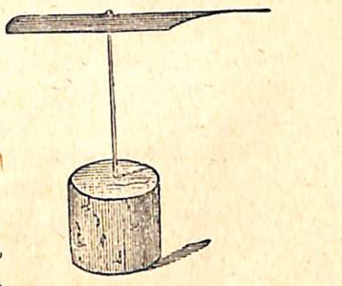


Рис. 320.

в) Подносят к концам магнитной стрелки, не касаясь ее (чтобы не сдернуть со шпенька или не придвинуть пробку к краю стакана), концы одной из намагниченных выше вязальных спиц, и определяют, который из ее полюсов северный и который — южный. Как воспользуетесь для этого найденным выше правилом взаимодействия полюсов?

с) Намагнитив еще одну вязальную спицу, мы найдем, что на каждом из ее концов возбуждается магнитный полюс разноименный с тем полюсом магнита, который к нему касался, т.-е. тот из полюсов, который притягивается к полюсу магнита. Из одного этого уже ясно, что дело не состоит в простом переходе магнетизма к стали (см. выше § 286). Но вот что еще замечательно. В подносимом к магниту куске железа всегда одновременно появляются оба полюса: на ближайшем к полюсу конце магнита появляется полюс разноименный с полюсом магнита, а на противоположном — одноименный (см. рис. 321). Гвоздь из более твердого сорта железа (проволочный) не вполне размагничивается, по удалении от магнита, и на нем магнитная

стрелка тотчас нам покажет, что расположение появляющихся полюсов именно таково, как сказано; намагнитив гвоздь, легко его «перемагнитить», если обратить к полюсу магнита другим концом, чем сначала. Вот важные особенности явления, которое называется магнитной индукцией.

д) Как узнать, был ли, например, какой-нибудь из случайно взятых нами гвоздей раньше намагничен или нет, и если да, то который из его концов северный и который южный? Имейте в виду, что о наименовании конца (т.-е. N или S) приходится судить по отталкиванию им одноименного полюса стрелки: притяжение не решает вопроса. Почему? Что произошло бы при поднесении к концам стрелки ненамагниченного предварительно железа?

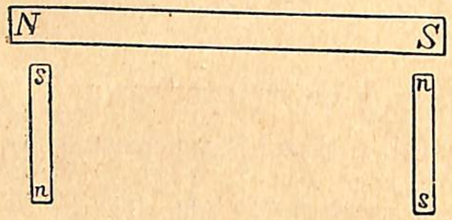


Рис. 321.

е) Магнитная стрелка позволяет обнаружить действие магнита уже на значительном расстоянии, через воздух или другие тела — конечно, тем большем, чем сильнее магнит и чем свободнее поворачивается стрелка. Помещают магнитную стрелку на край стола, а под доской стола поворачивают из стороны в сторону магнитный брусок или подковообразный магнит, держа первый горизонтально, а второй—концами кверху. Стрелка будет тоже поворачиваться, и можно заметить, что она стремится стать параллельно прямой, соединяющей полюсы магнита.

IV. Магнитное действие земного шара.

(Земной магнетизм.)

289. Магнитная стрелка устанавливается в данном месте земли по некоторому определенному направлению. Конечно, она принимает его не сама собою, а от какого-либо магнитного действия извне. Но каких-либо намагниченных предметов вокруг мы не находим, а потому причину этого замечательного явления приходится искать в действии земли. Нередко говорят, что «земля — большой магнит». Но это не значит, что земной шар—магнит, в роде наших стальных, или что внутри земли находится готовый магнит. Не надо также смешивать магнитного действия земли с тем «притяжением», от которого зависит вес тел и их стремление падать на землю. От намагничивания вес железа или стали нисколько не увеличивается. Магнитное

действие земли лишь стремится повернуть или направить
магнитную стрелку определенным образом в каждой точке зем-
ной поверхности, подобно тому как ее направляет магнитный
брусок, если подносить его в горизонтальном положении сверху,
(или снизу, см. оп. § 288) срединою к средине стрелки.

Когда говорят, что магнитная стрелка указывает север и юг, следовательно, «страны света», то выражаются недостаточно точно, потому что словами «север» и «юг» не обозначаются какие-либо совершенно определенные направления: можно ведь указать на север и юг, просто махнув рукою в ту или другую сторону. Точки севера и юга на горизонте соответствуют направлению географического меридиана (о нем см., между прочим, выше § 10). И вот, если иметь в виду именно точки севера и юга, то оказывается, что направление магнитной стрелки в разных местах земли более или менее уклоняется от географического меридиана, и только в сравнительно немногих местах совпадает с ним. Но, зная угол, составленный в данном месте стрелкой с меридианом, мы можем найти и направление самого меридиана. Пусть, например, в каком-нибудь месте магнитная стрелка северным своим концом отклоняется от географического меридиана на 15° к западу (рис. 322).

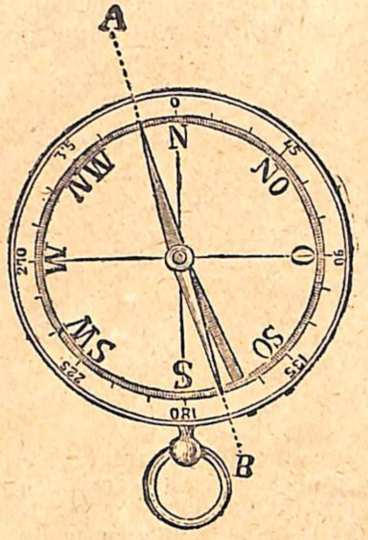


Рис. 322. Определение направления магнитного и географического меридианов.

Если бы направление меридиана было
здесь неизвестно (его не всегда легко определить в чуждой мест-
ности или на океане), то стоило бы только отсчитать от север-
ного конца стрелки 15° к востоку, и мы нашли бы направление
меридиана NS; другими словами, конец N прямой линии NS ука-
зал бы нам точку севера на нашем горизонте, а S — точку юга [1]).

[1]) Угол, составляемый направлением магнитной стрелки с меридианом
данной местности, называется углом магнитного склонения или просто скло-
нением (магнитной стрелки). Склонение, следовательно, бывает восточное
и западное (считая, как всегда, по северному концу стрелки). Линия, про-
веденная через местности, где магнитное склонение = 0, т.-е. где направление
стрелки не уклоняется от географического меридиана, опоясывает землю, про-
ходя в Европейской части С.С.С.Р. западнее Ленинграда, через Нарву на Керчь.
(В местностях восточнее этой линии стрелка компаса уклоняется к востоку
(в Европейской части С.С.С.Р. вообще на несколько градусов), а западнее —
к западу. Восточное склонение в Ленинграде около 1°; западное в Берлине

Земля, как целое, имеет еще то общее с магнитом, что: 1) у нее два магнитных полюса, один в северном полушарии, другой—в южном, и линия безразличия, 2) находящиеся на земной поверхности железные и стальные предметы почти всегда намагничены магнитным действием земного шара.

290. Магнитные полюсы земного шара не совпадают с географическими, а находятся в стороне от них. Магнитный полюс северного полушария лежит к северу от Гудзонова залива, под географической широтой около 70°, т.-е. приблизительно в 2000 верстах от северного

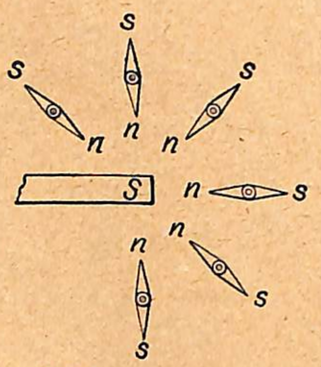


Рис. 323. Держа магнитную стрелку в одной горизонтальной плоскости с магнитом, подносят ее к одному из полюсов магнита с разных сторон: стрелка всякий раз указывает на магнитный полюс.

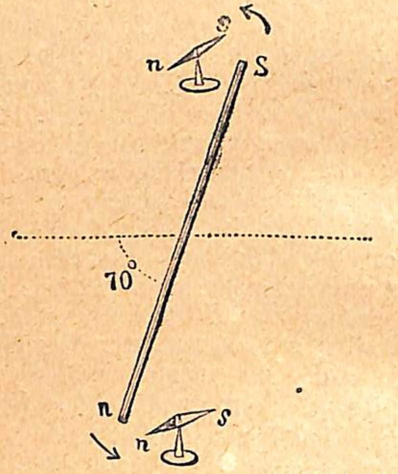


Рис. 324.

полюса земного шара. Положение его более или менее точно определено различными наблюдениями в течение нескольких десятилетий. Рис. 323 позволяет понять один из приемов, каким образом может быть решена эта задача.

291. Чтобы обнаружить появление магнитных полюсов, вследствие действия земного магнетизма в железном стержне, следует держать его не как попало, а в направлении, по которому

около 9°, в Париже около 14°. Есть местности, где стрелка компаса уклоняется от меридиана еще на значительно большие углы. Все эти углы медленно изменяются современем, с годами и веками (сообщенные здесь сведения относятся собственно к 1909 г.). Еще многое другое, о чем мы здесь не можем распространяться, показывает, что так называемый земной магнетизм—явление весьма сложное, и применение компаса к мореплаванию очень далеко от той простоты, которая, по необходимости, предполагается в начальных руководствах географии.

магнитное действие наиболее сильно: на севере С.С.С.Р. оно лишь немного отличается от вертикального. Тогда нижний конец стержня будет отталкивать северный полюс магнитной стрелки, а верхний—ее южный полюс (рис. 324). Перевернув стержень концами, найдем опять в нижнем северный полюс, а в верхнем южный [1]).

Поднося магнитную стрелку или карманный компас к концам железных кухонных щипцов или кочерге, висящих на стене, можно нередко заметить, что на нижнем их конце находится северный магнитный полюс, а на верхнем южный. В нижней части железного вертикально стоящего штатива при поднесении магнитной стрелки тотчас обнаруживается северный полюс. Часто удается заметить намагничение железной печки.

V. Обзор.

292. В природе встречается особая железная руда—магнитный железняк, обладающая свойством притягивать мелкие железные предметы (природный магнит). Искусственные магниты изготовляют из стали, придавая им форму бруска, подковы или стрелки. Берется сталь потому, что, будучи намагничена, она сохраняет магнитные свойства неопределенно долгое время; чистое мягкое железо, наоборот, размагничивается по удалении его из области действия магнита.

Действие магнита обнаруживается не только при непосредственном соприкосновении с ним железных и стальных предметов, но и на расстоянии (магнитная индукция).

Кроме железа и стали, магнитному действию подвержены еще, напр., чугун и никкель. Но, напр., на медь, цинк, стекло магнит не действует. У магнита имеются полюсы—места, в которых магнитное притяжение всего сильнее, и линия безразличия—

[1]) На севере С.С.С.Р. лучше держать стержень, отклонив его нижний конец от отвесного направления к северу градусов на 20° (на юге С.С.С.Р. градусов на 30°). В связи с этими опытами стоит задать себе вопрос: какой именно магнитный полюс—северный или южный—находится в северном полушарии земли? Почему в нижнем конце стержня появляется северный? Так как мы условились называть северным концом магнитной стрелки тот, который указывает на север, а так как взаимно притягиваются разноименные полюсы, то, следовательно, магнитный полюс северного полушария мы должны считать южным (а южного—северным). Поэтому-то в нижнем конце железного стержня и появляется северный полюс, т.-е. разноименный с магнитным полюсом северного полушария (припомним магнитную индукцию—§ 286). Дело чисто условное, зависящее от того, как назвать концы магнитной стрелки.

*

срединный пояс, где притяжения нет. Полюсы называются: один северным, другой южным. Одноименные полюсы двух магнитов обнаруживают, один по отношению к другому, действие отталкивания, разноименные—притяжения.

Свободно подвешенный магнит или вращающаяся на острие магнитная стрелка устанавливается одним концом, приблизительно, на север, другим на юг, но, именно, только приблизительно. В действительности направление магнитной стрелки более или менее уклоняется от географического меридиана, составляя с последним угол, разный в различных местах земли (угол магнитного склонения). Земля, таким образом, действует, как магнит; в северном полушарии находится южный магнитный полюс, в южном — северный, при чем магнитные полюсы не совпадают с географическими. Находящиеся на земной поверхности железные и стальные предметы намагничиваются магнитным действием земного шара.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ПЯТАЯ.

Электрические явления.

I. Электризование тел трением. Хорошие и худые проводники электричества.

293. Явления, к которым мы теперь переходим, представляют тоже много нового, странного, но они отчасти сходны с магнитными. Некоторые из них весьма обычны и, конечно, не раз обращали на себя наше внимание в повседневной жизни. При расчесывании сухих волос гуттаперчевой гребенкой слышится слабое потрескивание, а в темноте видны искры. Если в темной (и теплой) комнате провести рукою против шерсти по спине кошки, то искры иногда сыплются в изобилии. Потерев гребенку о сухие волосы или мех, поднесем ее к лежащим на столе бумажным обрывкам: мы заметим, что бумажки будут ею притягиваться. Такого рода явления были давно известны. Еще древние знали, что янтарь от трения получает способность притягивать легкие предметы. Эти и родственные им явления были названы электрическими, от слова «электрон», означающего по-гречески янтарь. Ближайшее знакомство с ними впоследствии показало, что они очень распространены в природе, и что между ничтожными искорками, которые замечаются при

расчесывании волос, и грозным явлением молнии существует теснейшая связь: молния есть огромная электрическая искра.

Вот еще несколько простых и любопытных опытов, относящихся до электризования тел. Потрем сухое и чистое ламповое стекло куском шелковой материи или сухою оберточною бумагою: после этого оно будет притягивать бумажные обрывки или подвешенную вертикально бумажную полоску (рис. 325); при поднесении к нему пальца оно будет издавать треск; в темноте же мы заметим и искры. Вместо бумажек, можно взять и более массивный предмет—деревянную линейку, подвешенную горизонтально на нитке или положенную срединою на какую-нибудь круглую подставку (напр., на часовое стекло, см. выше, рис. 2); конец линейки будет притягиваться к натертому ламповому стеклу или наэлектризованной о волосы гребенке. Наконец, притяжение можно обнаружить и с помощью маленьких аптекарских весов, приближая стекло или гребенку к одной из чашек. Поставим на сухой стеклянный стакан (или лучше на кусок парафина) цилиндрическую жестянку и проведем по ней несколько раз натертым, как указано, ламповым стеклом: поднося затем к жестянке сустав согнутого пальца, можно будет извлечь из нее электрическую искру весьма заметную вблизи, даже при дневном свете; появление ее сопровождается треском, а в пальце она производит как бы легкий укол (или судорогу). Наконец, приложим к теплой печке пол-листа писчей бумаги и натрем ее рукою (тыльной ее частью) или резинкой. Бумага крепко пристанет к печке и не отпадет, если отнять руку. Сняв бумагу за один из углов (это сопровождается легким треском) и приближая руку, мы заметим сильное притяжение; иногда слышится и треск. Повторим опыт; но предварительно поместим у печки металлический поднос на трех стеклянных стаканах (непременно чистых, сухих и лучше слегка подогретых). Если наэлектризованную бумагу положим на поднос (перенеся ее осторожно за один из ее углов так, чтобы она ни к чему не коснулась), то из подноса можно будет получить довольно сильную искру. Сняв бумагу (и держа ее пока в стороне), можно извлечь из подноса еще искру; при вторичном наложении бумаги — еще и т. д., иногда удается получить несколько искр, одна за другою.

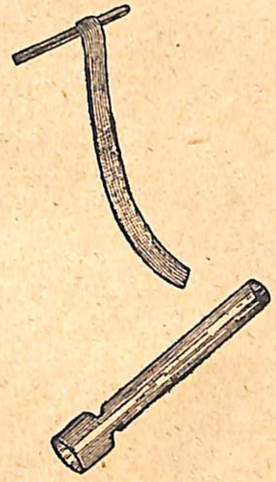


Рис. 325.

От трения друг о друга многие тела приобретают свойство притягивать легко-подвижные предметы и давать искры, сопровождающиеся слабым треском. Кроме уже названных выше примеров (стекла, потертого шелком или бумагою, гуттаперчи, потертой мехом или шерстью, янтаря), возьмем еще смолу, например, палочку сургуча: она хорошо электризуется при трении о мех или шерсть. При некотором внимании мы заметим не только притяжение легких предметов к наэлектризованному телу, но и отталкивание от него. Например, мелкие бумажки, сперва приставшие к потертому ламповому стеклу, иногда, спустя короткое время, отскакивают далеко в сторону. Если подвесим пробочный (или бузинный) шарик на шелковинке и прикоснемся к нему наэлектризованным стеклом, то, после прикосновения, шарик будет упорно отталкиваться от стекла (рис. 326). То же самое заметим, если вместо стекла возьмем сургуч или гуттаперчевую палочку.

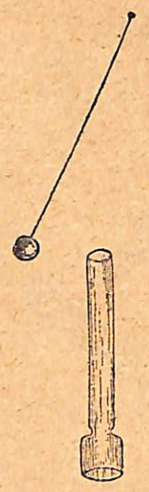


Рис. 326.

294. Сравним описанные выше явления с магнитными. Мы тоже наблюдаем здесь притяжение и отталкивание. Но встречаем кое-что совсем новое: появление электрических свойств просто от трения тел, электрическую искру. Опыт с жестянкой, поставленной на кусок параффина, указывает нам, пожалуй, на главное отличие электрических явлений от магнитных. Проведя по жестянке несколько раз наэлектризованным стеклом в одном месте, мы увидим, что все части жестянки будут притягивать подвешенную бумажную полоску; искру мы получим, если вообще она будет заметна, поднося палец к любому ее месту. «Электрическое состояние» именно распространяется тотчас на всю поверхность жестянки. Соединим жестянку с другой, такой же, тоже стоящей на куске параффина, посредством тонкой длинной проволоки. Наэлектризовав одну из них прикосновением потертого стекла (как раньше), заметим по притяжению (и искре), что наэлектризуется и другая. Но если, вместо проволоки, возьмем шелковинку, то другая жестянка не обнаружит никаких признаков электризации. То же будет, если соединить жестянки резиновой тесемкой (например, от излюбленных школьниками «рогаток») или чистой с поверхности, снаружи и внутри стеклянной трубкой. Если между жестянками протянуть бумажную нитку и опять наэлектризовать одну из них, то другая может наэлектризоваться быстрее или медленнее: все зависит от того, влажен или

сух окружающий воздух. То же будет в случае деревянного кружка. Если же нитку, деревянный прутик или шелковинку хорошо смочить водой, то заряд будет передаваться ими так быстро, что в этом отношении мы не отличили бы их от металлической проволоки. Стеклянная трубка — влажная или нечистая (захватанная) — тоже передаст заряд другой жестянке.

295. Что следует из этих опытов? То, что электричество хорошо распространяется по металлическим предметам и как бы задерживается неметаллическими — во всяком случае некоторыми. Поэтому между телами отличают хорошие и худые проводники электричества, как отличают хорошие и худые проводники теплоты. К хорошим проводникам электричества относятся металлы, земля, природная вода, тело животных и растений и вообще тела, пропитанные водою. Из худых проводников, кроме шелка, резины и стекла, назовем еще гуттаперчу, смолу, параффин, серу, сухой воздух. Между первыми и вторыми стоят такие тела, как бумага, дерево (сухое), многие камни: их можно назвать «полупроводниками» [1]).



Рис. 327.

Параффин под жестянкой в наших опытах, как плохой проводник, отделяет, уединяет или изолирует металл от стола, и, следовательно, от других окружающих предметов: иначе электричество по ним тотчас же перешло бы к земле. В самом деле, если поставим жестянку прямо на стол, то нам не удастся наэлектризовать ее. Точно также, если к наэлектризованной — стоящей на параффине — жестянке коснемся рукою, то всякие следы электризации в ней исчезают: электричество уходит в землю через наше тело.

[1]) Дальше мы будем часто говорить, для краткости, «проводник» вместо «хороший проводник». Выражение: «два проводника соединены» или «сообщены» между собою — будет значить, что между ними находится хороший проводник (например, в виде проволоки), прикасающийся к тому и другому.

Изолируя (уединяя) металл помощью подставки из дурного проводника, можно обнаружить, что *и металлы при трении электризуются*. Если поставленную на парафин жестянку похлестать мехом или шерстью, то она оказывается наэлектризованною. Также наэлектризовывается металлический подсвечник (рис. 327), если держать рукою за вставленную в него свечу. Но, держа металлическую вещь в руке, мы можем натирать ее сколько угодно и чем угодно, — она не наэлектризуется, и можно, пожалуй, подумать, что металлы вообще неспособны электризоваться трением. Заметьте, что мы начали наши опыты как раз с такими телами (стеклом, гуттаперчей, сургучом), которые дурно проводят электричество и, следовательно, сами себя изолируют от нашей руки.

Если принять меры к хорошей изоляции нашего собственного тела, то оно, как всякое иное, электризуется при трении или соприкосновении с другими, уже наэлектризованными телами [1]).

II. Два рода электрических зарядов. Электроскоп. Электрическая индукция.

296. Мы имели дело с магнитными полюсами двоякого рода и видели, что одноименные отталкиваются, а разноименные притягиваются. Между наэлектризованными телами тоже наблюдается или притяжение, или отталкивание: отсюда и здесь заключают *о двоякого рода электрических зарядах*. Два легких шарика, подвешенных на шелковинках (рис. 328), взаимно отталкиваются, если будут наэлектризованы от *одного и того же* источника, например, стеклом, потертым о шелк, или сургучом, потертым о фланель. Если же один из шариков наэлектризовать стеклом, а другой — смолою (сургучом), то шарики будут притягиваться друг к другу. Следовательно, отталкивание — признак, что тела заряжены одинакового рода электричеством. Теперь,

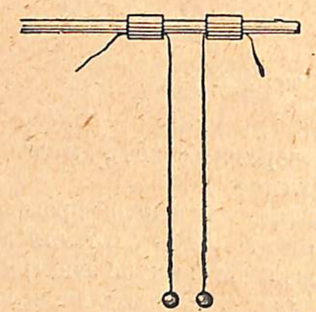


Рис. 328.

[1]) Становятся, например, на скамейку со стеклянными ножками или просто на доску, поддерживаемую тремя крепкими (чистыми и сухими) стаканами, а лучше — тремя кусками параффина. Если кто-нибудь другой будет натирать (хлестать) стоящего на изоляторах, то к руке последнего будут притягиваться подвешенные бумажные полоски, подвижно установленная линейка и пр.; из разных частей его тела можно будет извлекать искры.

зарядив один шарик стеклом, а другой смолою, посмотрим, как относятся к их зарядам различные тела, наэлектризованные трением. Окажется, что они оттолкнут либо первый шарик — и тогда притянут второй, либо второй — и тогда притянут первый. Можно было бы два рода электрических зарядов, для отличия, назвать: «стеклянным» и «смоляным» (так их сперва и называли). Но их принято называть иначе. Тот заряд, который появляется на стекле, при трении шелком (и следовательно, с ним однородный), называется *положительным* (+), а тот, которым заряжается смола (сургуч), при трении шерстью, *отрицательным* (—). Названия эти произошли от того, что оба заряда как бы противоположны друг другу: они ослабляются или уничтожаются взаимно, если их сообщать одному и тому же проводнику [1]). Вместо «двух родов электрических зарядов», говорят также: два рода электричества — *положительное* и *отрицательное*. Можно сказать вообще, что *тела, наэлектризованные одноименно, отталкиваются, а разноименно — притягиваются*.



Рис. 329.
Электроскоп.

297. Теперь понятно будет устройство и действие *электроскопа*, прибора, столь же часто применяющегося в электрических опытах, как магнитная стрелка — в магнитных (см рис. 329). Вот несколько применений этого прибора.

а) Если прикосновением к стерженьку наэлектризованным телом сообщить прибору электрический заряд, то зарядившиеся одноименно листочки расходятся на больший или меньший угол, смотря по степени электризации. При хорошей изоляции листочки очень долго остаются отклоненными. Прикосновение руки — «сообщение с землею» — тотчас же разряжает электроскоп: листочки спадают.

б) Если коснуться заряженного электроскопа хорошим проводником, например, металлическим прутком, держа его в руке, то листочки мгновенно спадаются. Напротив, прикосновение дурным проводником — ламповым стеклом, сургучом или гуттаперчевой палочкой (если только они случайно не наэлектризованы), не произведет изменения в положении листочков. Вы, конечно, теперь знаете, отчего эта разница. Прикоснемся к наэлектризованному

[1]) Названия, однако, могут быть понятны лишь для того, кто знаком с положительными и отрицательными числами.

электроскопу деревянной палочкой («полупроводником»): листочки тоже спадутся, но медленнее, притом более или менее медленно смотря по тому, сух или влажен воздух. Коснувшись очиненным концом карандаша, т.-е. графитом, можно обнаружить, что графит — хороший проводник; затем пробуют касаться деревянной частью карандаша, держа его тогда рукою только за деревянную оболочку (т.-е. не касаясь графита).

в) Электроскоп с несомненностью укажет на электризацию металлов трением, если бы это почему-нибудь не удалось хорошо заметить указанными раньше приемами (§ 295).

г) Если взять электроскоп, достаточно чувствительный (с алюминиевыми листочками), и принять меры, когда нужно, для хорошей изоляции тел, то можно найти, что способность их электризоваться при трении чрезвычайно распространена. Восковая или стеариновая свеча, фарфоровая чашка или тарелка, пробка, кусок дерева и пр. при трении о мех или сухие волосы хорошо электризуются. Достаточно по столу или руке быстро провести волосяной изолированной кистью, чтобы она оказалась наэлектризованною. Если чинить карандаш так, чтобы обрезки падали на пластинку, прикрепленную к стерженьку электроскопа (рис. 329), то его листочки мало-по-малу расходятся.

д) Наэлектризуем электроскоп, например, потертым о шелк стеклом, т.-е. положительно, а потом коснемся к стерженьку наэлектризованным отрицательно сургучом: мы увидим, что листочки более или менее спадутся; можно приноровиться так, что всякий заряд их исчезнет. Это именно будет значить, что им сообщены, как раз, равные заряды противоположных знаков [1].

Заряд «исчезает» — не значит, что он пропадает бесследно. Ничто в природе не уничтожается начисто. Происходит, собственно, не уничтожение, а преобразование. Взамен электрических зарядов появляется т е п л о т а: электрическая энергия преобразовывается в тепловую, в энергию неупорядоченного движения молекул, которая затем рассеивается. Но в нашем опыте появления теплоты нам не удалось бы обнаружить обычными средствами. С возникновением теплоты при электрических явлениях мы еще не раз встретимся: можно теперь же указать

[1]) Понять, что это значит, опять-таки может только тот, кто знает, что например $+5$ и -5 (плюс пять и минус пять) вместе дают 0. Из того, что плюс 5 и минус 2 дадут плюс три, а минус пять и плюс два дадут минус три, можно сделать кое-какие заключения и о знаке заряда листочков, после того как им были сообщены н е р а в н ы е заряды противоположного знака. Заключения эти оправдываются опытом с электроскопом.

хотя бы на электрическую искру, свет которой происходит от развития теплоты.

е) Во всех предшествовавших случаях можно было уже заметить, что листочки электроскопа расходятся и тогда, когда наэлектризованное тело держат от стерженька на некотором небольшом расстоянии. Но стоит лишь убрать наэлектризованное тело, и листочки тотчас спадутся. Не правда ли, это опять напоминает кое-что из области магнитных явлений, именно: намагничивание железа чрез индукцию (§ 286)? Сходство идет и дальше. Можно указать, что, при поднесении наэлектризованного тела к верхнему концу стерженька нижний его конец вместе с листочками заряжается одноименно с подносимым телом, а верхний — разноименно (сравнительно с соответственными магнитными явлениями). После этого понятно будет название э л е к т р и ч е с к о й и н д у к ц и и, которое дается описанному только что явлению.

ж) Мы воспользуемся этим и сказанным раньше (д), чтобы помощью электроскопа узнавать, какого знака (плюс или минус) заряд какого-нибудь наэлектризованного тела. Сообщим электроскопу, например, положительный заряд. Что будет, если мы потом поднесем к стерженьку (не касаясь) тело, тоже заряженное положительно? В листочках временно, через индукцию, появится новый положительный заряд, и они разойдутся на больший угол. А если поднесем тело, заряженное отрицательно? Листочки более или менее спадутся, вследствие возбуждения в них временного отрицательного заряда, т.-е. противоположного тому, которым они уже были заряжены. Можно поступить и иначе. Сперва касаются электроскопа телом, заряд которого хотят определить, а потом уже приближают тело с зарядом, уже известным (стекло или смолу, как обычно), не доводя его до соприкосновения со стерженьком.

з) Все тела электризуются при трении (если не считать некоторых совершенно исключительных случаев). Наблюдения с электроскопом показали бы нам, вдобавок, что трущиеся друг о друга тела всегда электризуются р а з н о и м е н н о: одно — положительно, другое — отрицательно; так, иногда стекло натирается шелком и электризуется положительно, шелк электризуется отрицательно; мех, при трении о смолу или гуттаперчу, электризуется положительно. Чтобы в этом удостовериться, нужно только как следует изолировать тело, если оно само по себе недостаточно хороший изолятор. Выше (г) было упомянуто, что изолированная волосяная кисточка, если ею провести по столу, наэлектризовывается; если бы стол был поставлен на изоляторы, то оказалось бы, что и он электризуется, притом разноименно с кисточкой.

III. Электрофор. Электрическая машина. Лейденская банка.

298. Познакомимся теперь с несколькими интересными приборами, служащими для получения более сильных электрических действий. Не будем при этом входить в объяснение подробностей: надо вообще заметить, что электрические явления гораздо сложнее, чем мы, по необходимости, передаем их здесь.

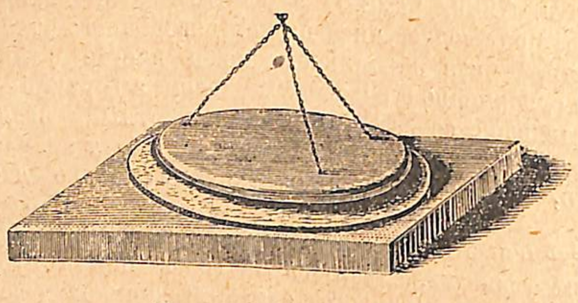


Рис. 330. Электрофор.

Электрофор (рис. 330) состоит из гуттаперчевой (или смоляной) пластинки и плоского проводника в виде кружка, оклеенного с поверхности оловянной фольгой [1] и подвешенного на трех шелковинках; последний называется «крышкой» электрофора. Наэлектризовав пластинку ударами меха, накладывают на него крышку. Через тонкий слой воздуха, отделяющий (изолирующий) крышку от пластины, отрицательный заряд последней возбуждает с нижней стороны крышки положительный заряд, а с верхней — отрицательный; мы имеем как раз хороший пример электрической индукции. Это изображено наглядно на рис. 331. Здесь же кстати показано, что с помощью проволоки, укрепленной на изолирующей рукоятке, можно передать оттолкнутый пластиною заряд электроскопу и таким образом удостовериться, что заряд этот отрицательный (см. § 297). Коснувшись теперь рукою крышки, отведем в землю отрицательный заряд, который отталкивается отрицательным зарядом пластины — как бы ищет выхода.

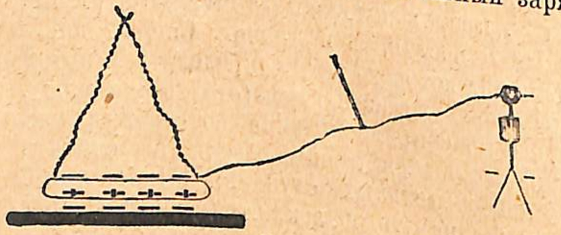


Рис. 331.

[1]) Надо заметить, что электричество распространяется только по наружной поверхности проводника; поэтому, обложенный листовым оловом деревянный кружок вполне заменяет собою сплошной металлический.

На крышке останется только положительный заряд, пока притянутый противоположным зарядом пластины. Поднимем крышку за шелковинки и освободим, таким образом, оставшийся заряд от притяжения его противоположным: мы найдем, что крышка действительно заряжена положительно; при приближении пальца она даст хорошую искру. Весьма любопытно, что если наложим крышку и потом поднимем ее, не прикоснувшись сперва рукою, то крышка окажется незаряженной. Почему? Потому именно, что плюс и минус заряды, находясь вместе на проводнике, при поднятии крышки взаимно «уничтожаются» (§ 297). Не зная этого, вы, конечно, всячески избегали бы касаться к наложенной на пластину крышке, опасаясь раньше времени потерять ее заряд; но тогда электрофор не исполнил бы своего назначения [1]).

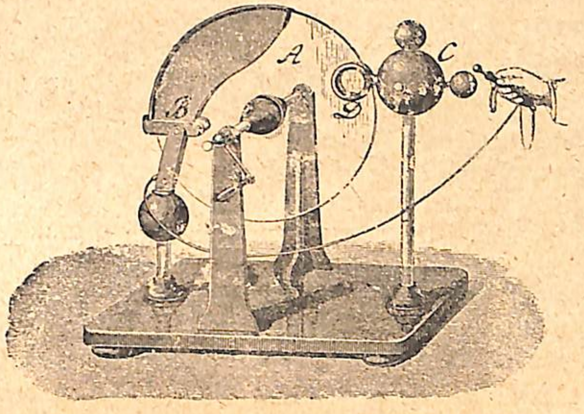


Рис. 332. Электрическая машина трения.

299. Электрическая машина простейшего типа, основанная на электризации трением (рис. 332), состоит из стеклянного круга A, который, при вращении за рукоятку, проходит между двух «натирателей» или «подушек» B и здесь электризуется положительно; электризующиеся же отрицательно подушки (поддерживаемые стеклянной ножкой) обыкновенно сообщаются помощью проволоки или цепочки с полом, т.-е. с землею. Главный проводник или «кондуктор» машины C, тоже на стеклянной ножке, не касается стеклянного круга, а отделен от него вилообразно разветвленной частью, охватывающей стекло с двух сторон, с остриями, обращенными к стеклу (их не видно на рисунке). Благодаря остриям, кондуктор C чрез тонкий слой воздуха заряжается одноименно со стеклом — положительно, а стекло разряжается,

[1]) В описанных выше (§ 293) опытах с наэлектризованной бумагой и подносом мы собственно тоже имеем дело с «электрофором»: бумага соответствует пластине, а поднос — крышке. Попробуйте разобраться сами.

как будто электричество прямо перешло со стекла на кондуктор [1]).

В настоящее время электрические машины этого типа почти оставлены, пользуются машинами более сложного устройства, более сильными и удобными (в описание их мы не можем вдаваться); они представляют из себя как бы усовершенствованный электрофор, почему и называются **электрофорными**. При вращении круга машины противоположные электрические заряды накопляются на двух одинаковых кондукторах (шариках), расстояние между которыми можно, по желанию, изменять (рис. 333). Между ними одна за другою проскакивают яркие искры.

300. С электрическою машиною можно делать бесчисленное множество интересных опытов, не говоря уже о даваемых ею

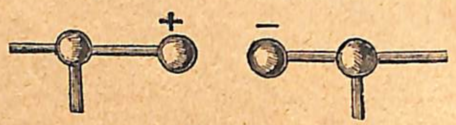


Рис. 333.

красивых искрах (особенно в темноте). Если встать на изолирующую подставку и держать руку в соприкосновении с кондуктором действующей электрической машины, то наше тело наэлектризовывается. Из разных частей тела можно извлекать довольно сильные электрические искры. Легкие или легко подвижные предметы будут к частям тела притягиваться, а зарядившиеся чрез прикосновение одноименно—отталкиваться. Любопытное явление «электрической пляски» произойдет, если электризуемый, держа ладонь свободной руки горизонтально, приблизит ее к металлическому подносу с лежащими на нем легкими шариками из бузинной сердцевины. Волосы на голове электризуемого, если они мягки и сухи, взаимно отталкиваясь, становятся дыбом. Электри-
ческое состояние нашего организма само по себе для нас совер-
шенно неощутимо, как бы сильна ни была электризация;
ощущения — мышечные, болевые и тепловые — получаются только
при быстрых изменениях степени электризации, напр., в моменты

[1]) Мы имеем здесь опять дело с индукцией — с появлением на вилке
обоих зарядов, из которых оттолкнутый, положительный, уходит на индуктор,
а отрицательный собирается на остриях. Но острия, как показывает опыт,
не удерживают электрических частичек, а отбрасывают их в воздух, в настоя-
щем случае, следовательно, на стекло, где они уничтожаются с равным коли-
чеством частичек положительного; таким образом стекло разряжается. Надо
вообще заметить по этому поводу, что назначаемые для электрических опытов
проводники, если хотят сообщить им значительную степень электризации, не
должны иметь острых углов или выдающихся заостренных концов, так как
с них заряд, более или менее, легко переходит в воздух. Впрочем, такой
потери и вообще нельзя вполне избежать; вот почему для ее уменьшения
часть стеклянного круга машины со стороны натирателей покрыта шелко-
вым чехлом. (См. рис. 323.)

разряда искрами. Судорожное сокращение частей тела зависит в таких случаях от мгновенного сокращения мышц. Сильный электрический разряд может причинить столбняк и даже убить большое животное (таковы, например, действия молнии); но обыкновенная электрическая машина не причиняет ни малейшего вреда—доставляет только удовольствие.

301. **Электрическая искра** появляется в воздухе в момент «уничтожения» электрических зарядов, вследствие развития при этом теплоты. Большая электрическая искра имеет вид настоящей молнии (рис. 334). Различные действия электрической искры вообще так сходны с действием молнии, что тождество обоих явлений прямо бросается в глаза. Электрическая



Рис. 334. Электрическая искра.

искра воспламеняет легко загорающиеся материалы, например, бензин, спирт; сильная искра может зажечь дерево, накалить и расплавить металлическую проволоку и даже превратить часть ее в пар (таковы именно действия молнии). **Свет** электрической искры зависит от накаливания газов воздуха и мелких металлических частичек, отрывающихся от поверхности проводников, между которыми она появляется. **Треск** искры — тоже следствие развития теплоты: быстрое расширение и следующее затем сжатие воздуха производит в нем сотрясения, дающие начало
звуковым волнам. Отчего, вслед за расширением воздуха непре-
менно последует сжатие? Припомните необходимое об атмосферном давлении и об отношении газов к нагреванию (§§ 80, 145, 148).
Электрическая искра длится чрезвычайно короткое время (мил-
лионные доли секунды): если в темноте осветить ею быстро вра-
щающийся кружок, разделенный на белые и черные части (секторы, рис. 335), то в момент появления искры он покажется остано-

вившимся. (Такую же остановку предметов, например, экипажных колес, можно заметить и в момент освещения их молнией.)

302. Замечателен следующий способ накоплять на малой металлической поверхности большие электрические заряды — большие количества электричества. Банка из тонкого стекла оклеивается снаружи и внутри листовым оловом, примерно до $^3/_4$ ее высоты и закрывается крышкой, которая служит для укрепления толстой проволоки, сообщающейся с внутренней металлической обкладкой; свободный (верхний) конец проволоки загибается кольцом или снабжается металлическим шариком. Такой прибор называется Лейденской банкой (рис. 336); составные его части лучше видны на разборной банке, представленной на рис. 337. Лейденскую банку «заряжают», сообщив внутреннюю обкладку, т. е. шарик, с кондуктором электрической машины, а внешнюю — с землею, например, держат банку в руке. Заряд внутренней обкладки возбуждает — через индукцию — в наружной заряды противоположных знаков: заряд разноименный с действующим притягивается к внутренней поверхности стекла, а одноименный — отталкивается, его-то и отводят в землю. Таким образом на обкладках собираются противоположные заряды; опыт показывает, что они гораздо больше тех, которые могли бы накопиться на каждой из металлических поверхностей, взятых в отдельности. Чтобы использовать накопленный банкою заряд, надо дать возможность противоположным зарядам «соединиться», «уничтожиться». Для этого один конец проволоки прикладывают к внешней обкладке, а другой приближают к шарику: тогда банка «разряжается». В момент разряда появляется теплота, с ее последствием — искрой в воздухе [1]). Мгновенный разряд большой Лейденской банки



Рис. 335.

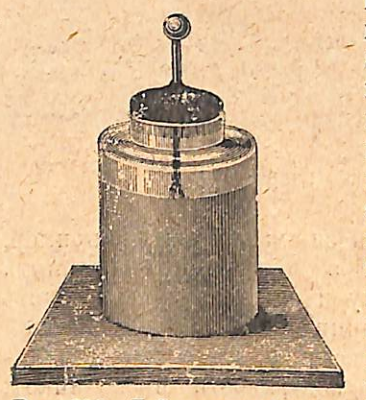


Рис. 336. Лейденская банка.



Рис. 337.

[1]) Если лейденскую банку при зарядке поставить на изолятор (на кусок парафина, стакан), то из внешней обкладки получим, приблизив палец, искру за искрой, как будто сообщаемое шарику электричество проходит

может производить очень сильные действия, и уже небезопасен для нашего организма. Их еще усиливают, соединяя несколько банок в так называемую электрическую батарею.

Чтобы разрядить небольшую или слабо заряженную лейденскую банку чрез себя (стоит попробовать), берут ее в руку и приближают к шарику другую. (Для этой цели можно дать прибору до крайности упрощенное устройство, см. рис. 338.) Можно произвести разряд и через «цепь» из нескольких человек, зарядив банку посильнее. Разряд лейденской банки сквозь бумагу или папку оставляет в них отверстия, как бы проколы иголкою. Разряд батареи из нескольких банок пробивает целую тетрадь, разрывая в клочья края отверстий. Достаточно сильный разряд может расщепить доску и пробить толстый кусок стекла. Словом, целый ряд механических действий искры опять напоминает собою всем известные разрушительные действия молнии.

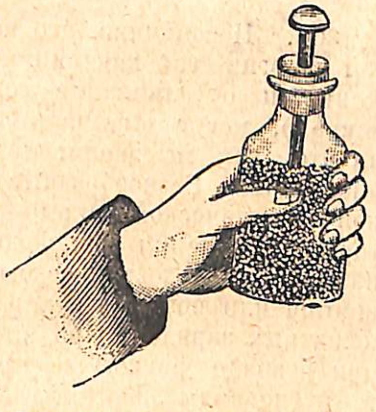


Рис. 338. Простейшая форма лейденской банки. В склянку насыпаны железные опилки (или дробь) или даже налита вода и сквозь пробку пропущен гвоздь. Внешней обкладкой служит рука.

303. Но кроме поименованных действий, электрический разряд производит еще и другие, о которых мы здесь лишь скажем, а самые опыты опишем в следующей главе, где познакомимся с обстоятельствами, при которых явления наблюдаются легче и лучше. Электрический разряд намагничивает железо и сталь — действие, которое производится и молнией. В этом сказывается замечательное родство электрических и магнитных явлений, о котором мы именно поговорим в следующей главе.

Электрический разряд производит и химические действия. Если пропустить сильный электрический разряд через воду,

сквозь стекло (незнакомый с делом может подумать, что в стекле трещина). На самом же деле, искры обусловливаются электричеством, возбуждающимся на внешней обкладке чрез индукцию. Если не удалять его (убрав руку), то банка не зарядится (или зарядится очень слабо), потому что накопление запаса связано с взаимным притяжением возбуждающихся противоположных зарядов. При разрядке можно сперва коснуться проволокой и к шарику, а другой ее конец поднести к внешней обкладке; но тогда при известных условиях (если именно банка, как обычно, не поставлена на изолятор) происходят явления, очень ослабляющие искру. Всякие дальнейшие подробности мы, однако, оставляем в стороне.

то на погруженных в нее проводниках появляются газовые пузырьки, состоящие из водорода и кислорода. Кислород выделяется на том проводнике, который сообщен с положительно заряженной обкладкой батареи, а водород — с отрицательной.

IV. Электрическая энергия. Электроны.

304. Несомненно, что наэлектризованные тела обладают запасом энергии, так как они могут производить движение (притяжение и отталкивание тел, колебание воздуха, производимое искрою), могут вызывать тепловые явления, лучистые и пр., — на что, как мы знаем, должна расходоваться энергия в какой либо форме. Разнообразные и страшные действия молнии — огромной электрической искры — делают до очевидности ясными некоторые проявления той, новой для нас, формы энергии, которая называется «электрическою». Когда электризация тел уменьшается или исчезает, напр., — при «соединении» двух противоположных зарядов, при отводе электрического заряда в землю, при разряде искрою и пр., электрическая энергия переходит в другие виды энергии, главным образом, в теплоту.

На получение электрических зарядов при трении и индукции должна затрачиваться энергия. Рассмотрим, для примера, с этой точки зрения действие электрофора. Пусть крышка была наложена на заряженную гуттаперчевую пластину и (прикосновением руки) сообщена на мгновение с землею. После этого ни новое прикосновение руки, ни сообщение с электроскопом не обнаруживают на ней каких-либо признаков электризации. Подняв крышку, мы, однако, получаем из нее искру: где источник приобретенной крышкою электрической энергии? Обратим внимание на то, что, отнимая крышку от заряженной пластины, мы совершали работу не только против веса крышки, — *мы затратили еще добавочную энергию на преодоление какого-то взаимного действия между пластиной и крышкой*, которое называют «*электрическим притяжением*»[1]). Эта энергия и является, в преобразованном виде, источником тех новых действий, которые мы наблюдаем, «разряжая» затем крышку электрофора. Если поднимать крышку, не зарядив пластины электрофора или не коснувшись наложенной

[1]) Его можно сделать наглядным и даже выразить в весовых единицах, подвесив крышку электрофора к чашке весов и определив, какой груз надо положить на другую чашку, чтобы оторвать крышку от заряженной пластины.

крышки рукою, то никакой специальной работы помимо той, какая требуется на преодоление силы тяжести, не затрачивается, и никаких новых явлений мы не получаем.

Пожалуй, еще нагляднее наблюдается затрата энергии на электризование в случае *электрофорной машины*. Вращать машину заметно труднее, когда она действует исправно, чем тогда, когда ее электризация расстроена (это можно сделать, не портя машины, перестановкою некоторых ее частей), и когда, следовательно, совершаемая нами работа идет на преодоление лишь обычных сопротивлений. Если сблизить оба кондуктора до тесного соприкосновения, то вся работа, затрачиваемая на электризацию при вращении круга, преобразовывается в *теплоту*, без посредства того явления, которое называют электрической искрой; но это остается скрытым от нас, потому что толстые проводники машины не нагреваются сколько-нибудь заметным образом.

305. По господствующей ныне *электронной теории* электричество рассматривается, как особый род материи, которая состоит из мельчайших, быстро движущихся частиц: скорость их может достигать огромной величины, мало отличающейся от скорости света. Эти частицы, которые еще *гораздо мельче атомов обыкновенной материи*, названы *электронами*. Электрические явления обусловливаются или известным состоянием равновесия движущихся электронов, или их потоками. Многое здесь, однако, еще остается невыясненным.

V. Об атмосферном электричестве и о молнии.

306. Мы уже видели, что искра электрической машины и лейденской банки воспроизводит в сильно уменьшенном виде все действия молнии. Отсюда, конечно, и следует, что молния — большая электрическая искра. Гром есть треск этой искры. Но почему он иногда длится долго (тогда как молния почти одно мгновение) и сопровождается раскатами, возбуждающими в некоторых невольный страх? Отчасти потому, что молния бывает значительной длины — нередко в несколько верст — и звуковые волны неодновременно достигают до нас от различных ее точек. Сюда присоединяются еще и другие обстоятельства, между прочим, многократное отражение звука от облаков и от земных предметов[1]).

[1]) А также то усиление и ослабление набегающих одна на другую звуковых волн, о которых упомянуто.

Наблюдения показывают, что земная атмосфера всегда более или менее наэлектризована. Но только тогда, когда электризация воздуха (по причинам, рассмотрение которых завело бы нас слишком далеко) становится достаточно сильной, электрический разряд, в виде искр, прорывается через воздух: происходит гроза.



Рис. 339. Северное сияние.

307. Явление грозы, возбуждая в боязливых и суеверных людях страх, вместе с тем не может не привлекать нас своею красотою. Несчетное множество научных описаний, правдивых рассказов и пустой болтовни можно прочесть и услышать про замечательные действия молнии. Мы скажем здесь лишь кое-что о защите зданий от ударов молнии посредством громоотвода. Если снабдить здание выдающимся над крышей железным шестом, который сообщается сплошным железным проводником с землею, то в случае удара молнии в шест электрический разряд направляется по проводнику, не причиняя вреда зданию. Следовательно, мы имеем дело, конечно, с «отводом молнии», и название громоотвода не соответствует действительности. Очень важно заметить, что снабжение зданий громоотводом обеспечивает их безопасность только при знании дела: неумело устроенный громоотвод не достигает цели и даже может причинить вред. На примере громоотвода мы встречаем один из многих случаев прямого применения научных знаний, добытых сперва только стремлением к знанию, в практике жизни, к борьбе с вредоносными явлениями энергии природы.

Что касается опасности самому пострадать от удара молнии, то она, вообще, сильно преувеличена людьми, которых, главным образом, пугает гром (припомните некоторые ходячие выражения на этот счет), обычные предосторожности, напр., закрывание окон и форточек во время грозы, а тем более вера особенно трусливых в спасительное действие подушек объясняется лишь слепым страхом перед этим мощным проявлением энергии атмосферных зарядов, но большею частью не имеют серьезных оснований.

308. Говоря об электрических явлениях в атмосфере, нельзя не упомянуть о северных сияниях (собственно «полярных», так как они происходят и в южном полушарии). Явление это необыкновенной красоты, и оставляет незабываемое воспоминание на всю жизнь у того, кому случилось его видеть в полном развитии. Рис. 339 изображает один из множества видов северного сияния; но рисунок может дать понятие лишь о внешнем его очертании во взятый момент. Большие и видимые на далеком пространстве северные сияния происходят в разряженных до крайности слоях атмосферы, на высоте 300 — 400 верст и, вероятно, еще выше. Отсюда заключают, что до этих высот все еще простирается земная атмосфера.

VI. Обзор и добавления.

309. При взаимном трении тел (мы говорим о твердых и жидких) они вообще «электризуются», т.-е. приобретают временно новые свойства: а) между натертым телом и другими, достаточно от него близкими, замечается взаимное стремление сближаться, взаимное притяжение; б) перед самым их прикосновением может произойти световое явление, сопровождающееся треском, а если поднесен палец, то и уколом или легкой судорогой. Свет и треск этой «электрической искры» — следствие сильного и быстрого повышения температуры на ее пути, вследствие превращения электрической энергии в тепловую. Электрическое состояние, приобретаемое телом при трении, распространяется по самому телу и передается чрез соприкосновение другим телам с очень различною быстротою (хорошие и худые «проводники» электричества). Оно исчезает при соприкосновении наэлектризованного проводника с нашим телом и со многими из окружающих предметов («сообщение с землею»). Поэтому обнаружение электризации проводника требует предварительной установки его на уединителе (изоляторе) из худого проводника.

Между телами, наэлектризованными трением, наблюдается либо притяжение, либо отталкивание, откуда и заключают о двоякого рода электрических зарядах; тела, наэлектризованные одноименно, отталкиваются, а разноименно — притягиваются. Электрические заряды того и другого рода взаимно «противоположны» в том смысле, что ослабляют или уничтожают друг друга, будучи сообщены одному и тому же проводнику. Трущиеся тела электризуются противоположными равными (взаимно уничтожающимися) зарядами.

Наэлектризованное тело возбуждает электрическое состояние на проводниках, находящихся поблизости и отделенных от него изолирующим веществом или «пустотою», при чем величина заряда повлиявшего тела остается без перемены; со стороны, обращенной к заряженному телу, проводник электризуется разноименно с телом, а с противоположной — одноименно; по устранении возбудившей их причины проводник оказывается незаряженным. (Электрическая индукция) [1].

Электрофор и электрические машины — приспособления, служащие для удобного преобразования механической энергии в электрическую.

Лейденская банка — прибор, позволяющий при малой поверхности скопить большие электрические заряды.

310. Обратим внимание на то, что каждое из явлений, характеризующих электрическое состояние тел, взятое в отдельности (движение, повышение температуры, свечение, звук и пр.), не представляет собою чего-либо нового. Но то обстоятельство, что эти явления, при известных условиях, постоянно встречаются вместе, навело на мысль о существовании общей, связующей их, причины — некоторого особого деятеля, называемого электричеством. Вопрос о том, что такое электричество, тотчас настойчиво навязывается каждому, кто только начинает знакомиться с электрическими явлениями. В нашей первоначальной книге нет никакой возможности дать даже приблизительное понятие о трудностях, которые пришлось преодолеть здесь испытателям природы, прежде чем ими была проложена тропинка в горные выси учения об электричестве. И оказалась поразительная вещь! Вопрос о том, что такое электричество, связан крепкими нитями с другим: что такое вещество, материя, из которой состоят тела? Оказалось, что атомы, из которых сложены частицы или молекулы тел

[1]) Собственно «электростатическая», так как дело касается электрических зарядов, находящихся в покое, в равновесии: «статикой» называется учение о равновесии сил.

(§§ 51—53), в свою очередь, должны состоять, главным образом, если не сполна, из еще более мелких частиц — частиц электричества, которые именно названы электронами (корпускулами). Посмотрите, какой совершенно новый (и опять странный?) оборот принимает дело в науке. Казалось бы, что нечего и задумываться над тем, что такое всем нам «хорошо известное» вещество тел, которое мы ведь можем осязать, видеть, обонять... Но пытливая мысль ученого ставит вопросы и о том, что всеми считается хорошо известным и понятным — просто по привычке; лишь смелая постановка вопросов и жажда их разрешения приводит, в конце концов, к тем «чудесам науки и техники», которые мы в наш век везде видим или о которых слышим и читаем... Этими чудесами ныне в особенности может гордиться область электричества, именно «электрического тока», к которому мы и обратимся в следующей главе.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ШЕСТАЯ.

Электрический ток.

I. Как происходит электрический ток. Магнитные, тепловые и химические действия тока.

311. Слово «ток» значит «течение», и под электрическим током разумеют течение электричества. Но разве электричество — жидкость, про которую мы именно говорим: течет? Жидкостью мы электричество, пожалуй, не назовем; но движение его по проводникам в некоторых отношениях настолько сходно с течением жидкости или газа по трубкам, что можно пользоваться сравнением, без которого даже трудно было бы обойтись при первоначальном знакомстве с электрическим током.

На изолированном проводнике, — напр., нашей жестянке, стоящей на куске параффина (§ 293), — электрический заряд находится в покое: частички электричества, взаимно отталкиваясь, собрались на поверхности проводника, и им некуда больше перемещаться, потому что кругом воздух — хороший изолятор. Электрическое состояние проводника обнаруживается, прежде всего, притяжением к нему легких предметов. Но, приближая к про-

воднику руку, т.-е. тоже проводник, мы как бы даем заряду выход, как даем жидкости выход из сосуда, когда открываем отверстие в стенке. Электрические частицы пробивают воздух и движутся дальше по проводникам, приводящим их к земле. Между жестянкой и нашей рукой появляется искра: происходит что то совсем новое, чего не было, пока электричество находилось в покое. Припомните, как много различных явлений сопровождают электрический разряд, электрическую искру: развитие теплоты, накаливание, т.-е. появление света; сотрясения воздуха, воспринимаемые нами как звук; затем еще и другие механические действия, как, напр., пробивание бумаги и расщепление дерева; затем еще намагничивание железа, химические действия и судорожные сокращения мышц, если разряд проходил чрез организм животного. Все эти преобразования электрической энергии происходят только тогда, когда электричество перемещается, движется. Электричество в покое — что стоячая, запруженная вода или заключенный в оболочку газ, всегда давящий на нее изнутри. Дадим воде течь под напором ее в запруде, и она точно преобразится: поворачивая мельничное колесо, а с ним — механизм мельницы, она теперь способна будет произвести множество действий, которых мы не можем ожидать от стоячей воды. Энергия запруженной воды преобразовывается в другие виды только при движении воды. Вот нечто сходное мы встречаем и в случае электрического тока. Движущееся электричество производит много различных действий, которые нашли полезнейшее применение в практической жизни, в технике; на их почве возрос целый новый отдел прикладной физики — электротехника.

312. Надо еще добавить следующее. Под «электрическим разрядом» обыкновенно подразумевают кратковременное — иногда почти мгновенное — перемещение электричества. Электрическим же «током» принято называть длящееся перемещение, в известных случаях ближе подходящее к тому, что мы называем течением жидкости. И самые способы получения электрического тока во многом отличаются от способов получения электрических разрядов. Как электрический ток получается в технике, для целей практической жизни, мы можем сказать лишь дальше, а для наших первых вводных опытов возьмем довольно известный прибор, который служит для приведения в действие электрических звонков. О нем было сказано в § 1. Чтобы хотя что-нибудь узнать, как и почему он действует, сделаем следующий опыт. Опустим в стакан с водою, к которой прибавлено немного серной кислоты, цинковую и медную или угольную пластинки, к которым прикреплено по медной проволоке (рис. 340). При прикосновении цинка с серной кислотой, как и с соляною

(§ 46), происходит химическое взаимодействие: из кислоты выделяется водород, а цинк, соединяясь с остальными элементами серной кислоты (серою и кислородом), образует растворяющееся в воде вещество — цинковый купорос; вещество это относится в химии к отделу «солей», потому что в известных отношениях сходно с обыкновенною солью. И вот опыт показывает, что при этом взаимодействии и цинк и кислота наэлектризовываются, хотя и очень слабо: цинк отрицательно, а кислота и от нее другая пластинка — положительно. Если мы теперь проволоки, идущие от пластинок, приведем в соприкосновение — «соединим» или «сомкнем» их, то электрическим зарядам пластинок дана будет возможность перемещаться друг к другу: при этом они «уничтожаются» в том смысле, как мы не раз говорили выше — заряды исчезают и возникает теплота. Но химическое действие продолжается, заряды тотчас же снова и снова восстановляются и т. д.... Так возникает и поддерживается в проволоке электрический ток.

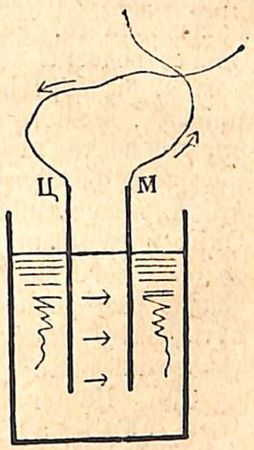


Рис. 340.

Электрические заряды пластинок нашего прибора настолько слабы, что мы их нашим электроскопом не обнаружим. Развития теплоты в проволоке нам тоже не удалось бы заметить. Но здесь нас выручит магнитное действие электрического разряда, о котором мы лишь упоминали выше. Что в проволоках при их смыкании действительно происходит нечто новое, очень легко обнаружить с помощью магнитной стрелки. Магнитные действия электрического разряда, которые сравнительно трудно заметить при его кратковременности, напротив, прямо бросаются в глаза в случае непрерывно длящегося разряда. Будем держать над успокоившейся магнитной стрелкой, вдоль нее, одну из проволок, идущих от пластинок нашего прибора. Как только мы сомкнем ее с другою, так стрелка отклонится, и останется немного отклоненною, пока проволоки сомкнуты. Наш прибор позволит заметить и еще одно действие тока, правда, очень слабое, именно химическое. Приложите к кончику языка концы обеих проволок, сблизив их, но не до соприкосновения, вы ощутите явственный кисловатый или вяжущий вкус — следствие химического разложения слюны электрическим током.

313. Необходима еще одна подробность. Положительный и отрицательный заряды пластинок, как мы сказали, движутся друг к другу и взаимно «уничтожаются». Где именно они встречаются? Вот неизбежный вопрос, который каждый из вас вправе

задать. На него мы здесь решительно не можем прямо ответить, потому что, повторяем, электрические явления вообще гораздо сложнее, чем мы по необходимости представляем их здесь. Будем считать — это условие принимается и в научных книгах по физике — за направление электрического тока то, в котором движется положительное электричество, следовательно, в сомкнутой проволоке — от меди или угля к цинку. Внутри прибора, так как положительный электрический заряд кислоты возникает в месте прикосновения ее с цинком, электрическое течение должно направляться от цинка к другой пластинке, как и показано стрелками на рисунке. Итак, в общем, при сомкнутых проволоках электрический ток принимает как бы круговое направление (обратите внимание на все стрелки рисунка). Это похоже на то, как если бы насос накачивал воду по трубе из одного водоема в другой, стоящий выше, а вода отсюда перетекала бы обратно в первый сосуд по другой трубе. В нашем приборе, в месте соприкосновения цинка с кислотою, как будто скрыто нечто играющее роль работы насоса — нечто доставляющее энергию, которою несомненно обладает электрический ток: это именно химическое взаимодействие цинка и серной кислоты. Опыт показывает, что оно развивает теплоту (когда добывают водород действием цинка на разведенную серную кислоту, склянка сильно разгорячается); пока проволоки прибора сомкнуты — дают путь току — часть этой тепловой энергии превращается в электрический ток.

314. Наш маленький прибор называется в курсах физики простым гальваническим элементом. Выставляющиеся из него наружу концы пластинок называются его полюсами: медь или уголь является положительным полюсом, цинк — отрицательным. Сообщить между собою полюсы телом, по которому электричество может перемещаться, т.-е. проводником, значит замкнуть гальванический элемент, замкнуть цепь. Направление тока в проводниках вне элемента, как мы уже упоминали, считается от положительного полюса к отрицательному (внутри элемента от цинка к другой пластинке). С помощью магнитной стрелки мы можем убедиться, что в проволоке замкнутого элемента действительно происходит что-то имеющее «направление». Держите опять проволоку, по которой проходит ток, над стрелкою, как прежде, и заметьте, в какую сторону отклонился ее северный конец. Затем, переместите проволоку, не изменяя ее направления (вдоль стрелки), под стрелку: северный ее конец теперь отклонится в другую сторону. Но представим себе вместо проволоки, по которой идет ток, струю воды, приводящую в движение колесо с лопастями (рис. 341): понятно, что колесо

будет вертеться в противоположные стороны, если направить струю то на верхние, то на нижние лопасти. Вот другой опыт. Расположим проволоки замкнутой цепью, как показывает рис. 342 (верхняя и нижняя части ее должны иметь направление успокоившейся магнитной стрелки), поднесем стрелку под верхнюю проволоку и заметим отклонение; поднеся затем стрелку под нижний проводник (проволоку), увидим, что она отклоняется в другую сторону. Но если бы по пути $BAA'B'$ текла струя воды, то в части BA направление водяного тока было бы одно, а в $A'B'$ — прямо противоположное; эта разница опять могла бы обнаружиться тем, что колесо с лопастями, будучи помещено между B и A (в M на рис.), стало бы вращаться в одну сторону, а между B и B' (в M' на рис.) — в другую. Если мы переместим концы проволок у элемента, соединив с отрицательным полюсом тот конец, который прежде был в сообщении с положительным, а с положительным тот, который сообщался с отрицательным, то направление тока в ней изменится, и наблюдавшееся нами в части BA будет теперь

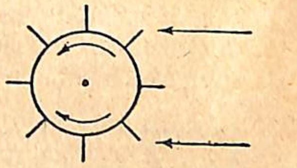


Рис. 341.

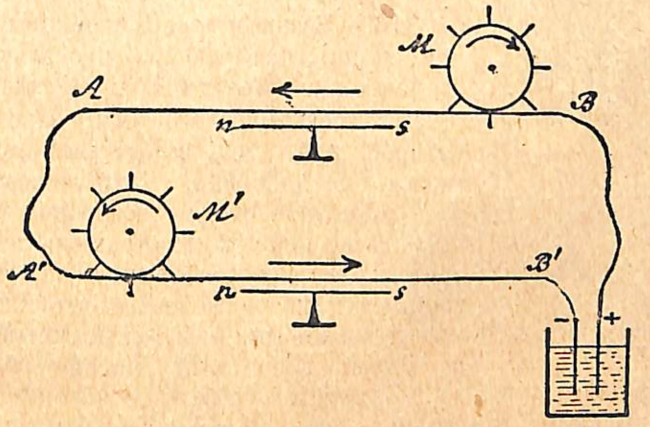


Рис. 342.

происходить в $A'B'$, и наоборот. Дальше сделанного нами чисто внешнего сравнения мы, однако, итти не вправе: было бы очень ошибочно думать, что и на магнитную стрелку надавливает какая-то невидимая нами струя, приводящая ее в движение.

315. При производстве опытов употребляются более сложного устройства гальванические элементы, разнообразие которых в подробностях очень велико. Различные усложнения имеют

целью усилить и сделать более постоянными их действия. Цинк и действующая на него химически жидкость — почти неизменные их составные части; другой же твердый проводник, который часто погружается в другую жидкость, отделенную от первой, обыкновенно бывает из угля (кокса) или меди; выставляющийся наружу конец цинка является отрицательным полюсом элемента, а соответственный конец другого твердого проводника — положительным. Для усиления действия соединяют несколько элементов в так называемые гальванические батареи. Звонковый элемент (или элемент Лекланше), который послужит для нижеследующих опытов (о нем уже упоминалось в § 2), состоит из цинка (минус), погруженного в раствор нашатыря, и коксовой палочки (плюс), заделанной в смесь толченого угля с перекисью марганца. Батарейка карманного электрического фонаря (рис. 343), также пригодная для нескольких первоначальных опытов, состоит из трех подобных элементов, только с меньшим количеством жидкости — она лишь пропитывает порошковатую прессованную массу.

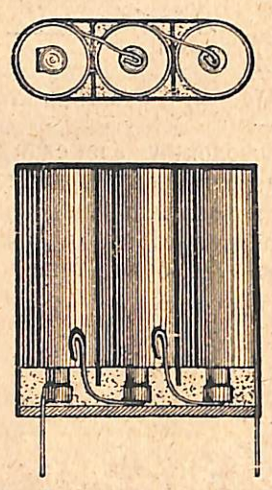


Рис. 343. Батарейка карманного электрического фонаря.

316. Возьмем теперь звонковый элемент или, лучше, батарею из нескольких таких элементов и обратимся к магнитным действиям электрического тока. Проволока, по которой идет ток, возбуждает вокруг себя магнитные действия. Если железный стержень обмотать спирально проволокой и пропустить по ней ток, то стержень намагничивается; по прекращении тока, если стержень из мягкого железа, намагничение его тотчас исчезает или почти исчезает (см. опыт, описанный в начале книги, § 2, рис. 3). Такой временный магнит называется **электромагнитом**. Заметим себе важное условие хорошего намагничивания: ток должен итти **вокруг** железа, а не вдоль самого стержня; поэтому проволоку берут не простую медную, а обмотанную ниткой или шелком, «изолированную проволоку»: обмотка предотвращает переход тока к железу и от одного оборота прямо к соседнему чрез прикосновение [1]). «Подъемную силу»

[1]) Не надо представлять себе дело так, как будто «магнетизм переходит из проволоки в железо». На самом деле, все ближайшее пространство вокруг проволоки, по которой проходит ток, — и это то особенно замечательно, — приобретает способность намагничивать железо совершенно так же, как пространство вокруг магнита; проволока же (не забудем — медная) сама по себе

электромагнита увеличивают, придавая ему подковообразную форму, т.-е. сближая оба полюса и наматывая проволоку несколькими слоями, один сверх другого (рис. 344). Железный «якорь» такого электромагнита, даже небольшого, при токе от двух звонковых элементов, удержит большой кирпич. Электромагнитам придается и другая форма, при которой их подъемная сила еще увеличивается. Электромагниты вообще гораздо сильнее одинаковой с ними величины стальных магнитов. На рис. 345 представлено схватывание тяжелой железной массы электромагнитом, висящим на цепи подъемной машины.

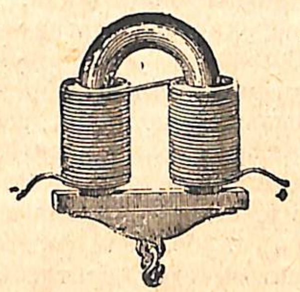


Рис. 344. Электромагнит.

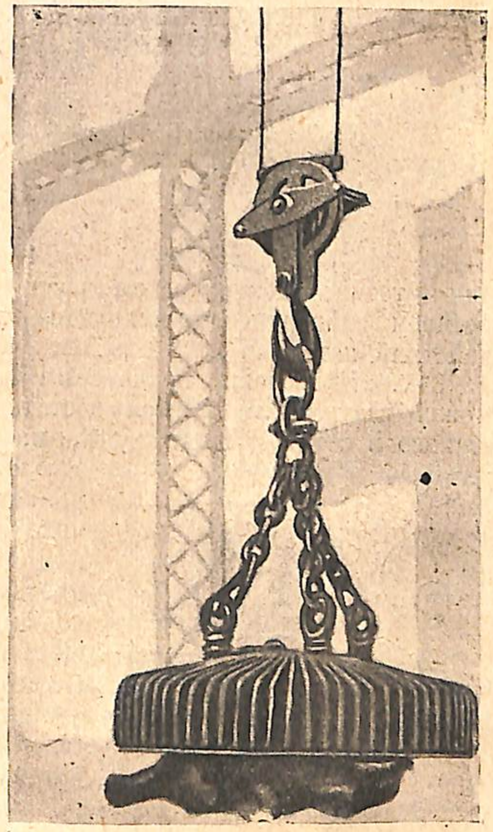


Рис. 345. Электромагнит для поднятия тяжелых железных масс.

Который из концов электромагнита будет северным и который южным — это зависит от направления тока. Правило, легко выводимое из опытов, таково. Если мы обратим к себе конец обмотанного проволокой стержня, то электрический ток будет итти в нем по одному из двух направлений: или в сторону движения часовой стрелки, или против стрелки. И вот **южный** полюс

не намагничивается. Железо, внесенное в это пространство (называемое в курсах физики «магнитным полем»), вообще намагничивается, как намагничивается железо вблизи магнита. Но оно намагничивается всего сильнее, находясь внутри винтообразно (спирально) обходящего вокруг него тока, как именно в нашем опыте.

всегда будет с того конца, где ток идет по направлению стрелки часов (рис. 346); другой конец, где, следовательно, ток против стрелки, — если тоже смотреть, обратив конец к себе, — будет северным.

Очень важно заметить, что магнитные действия производятся только движущимся электричеством — электриче-



Рис. 346.



Рис. 347.

ским током, электрическим разрядом. Вокруг проводника, на котором электричество находится в покое, никаких магнитных действий нет.

317. Проволоки, по которым проводится электрический ток, можно взять, если имеется достаточно сильный источник тока, длиною в сотни, тысячи верст, и, таким образом, замыкая ток (сводя проводники) в одном месте, приводить в действие электромагнит, находящийся на большом расстоянии. А электромагнит, притягивая и отпуская якорь, может двигать части прибора, дающего или делающего какие-нибудь условные знаки. На этом основано устройство обыкновенного электромагнитного телеграфа. Говорим «обыкновенного», потому что все давно к нему привыкли, и возможность сноситься по проволоке за тысячи верст уже никого не удивляет. Нас пока еще удивляет более новое изобретение — беспроволочный телеграф. О том и другом будет сказано дальше.

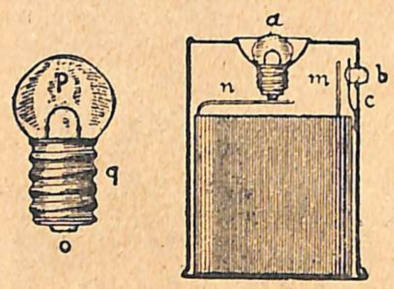


Рис. 348. Карманный электрический фонарик.

318. Тепловое действие электрического тока, т.-е. то, которым обусловливается электрическая искра при кратковременном разряде чрез воздух, известно всякому, кто видел электрическое освещение в городах или имел в руках карманный электрический фонарик. Лампочка такого фонарика состоит из стеклянного шарообразного колпачка (рис. 348), в котором заключена тончайшая угольная или металлическая нить; помощью двух более толстых проволок один конец нити сообщен с наружным

медным цоколем (обкладкой) q, ввинчивающимся в патрон фонарика, а другой — с нижней медной бляшкой O; бляшка от цоколя, а также и вводные проволоки, отделены друг от друга прокладкою из непроводящего ток материала. На том же рисунке справа видно, что бляшка ввинченной в патрон лампочки прикасается к упругой медной пластинке n, идущей от одного из полюсов батареи, а патрон, при посредстве металлических стенок фонарика, сообщен с пружинкой c: при нажатии кнопки b эта пружинка касается упругой медной пластинки m, идущей от другого полюса, и замыкает цепь через лампочку.

Если для опытов имеется достаточный источник тока (батарея из нескольких звонковых элементов или других более сильных), то можно произвести и мелкие, но очень красивые искры. Один конец проволоки прижимают к напилку, а другим водят по насечке: из под проволоки брызжет пучок мелких искорок, состоящих из оторвавшихся раскаленных частичек меди. Чрезвычайно яркие искры можно получить между заостренными концами сближенных до соприкосновения коксовых палочек, если только ток достаточно силен. Этим на практике именно пользуются в электрических лампах, дающих самый сильный искусственный свет, о чем скажем ниже, когда займемся некоторыми подробностями электрического освещения.

Надо заметить, что проволока, по которой проходит электрический ток, всегда более или менее нагревается, но только в очень различной степени, и не всегда нагревание легко обнаружить. Все зависит от того, каков источник тока, каковы размеры — длина и толщина — проволок и материал, из которого они состоят. Вообще говоря, сильнее нагреваются более тонкие проволоки из входящих в состав цепи: они представляют току большее противодействие, или «сопротивление» — подобно тому, как текущей жидкости труднее проходить сквозь тонкую трубку, чем сквозь широкую. Что касается различных материалов, то они сильно отличаются по способности проводить ток (это напоминает различия в теплопроводности): лучше всего проводят ток, т.-е. оказывают ему наименьшее сопротивление, серебро, и чистая (красная) медь, — железо же значительно труднее, а кокс, который среди не-металлических материалов считается еще хорошим проводником, еще гораздо труднее. (Дерево или нитка, по отношению к токам, с которыми мы производим наши опыты, могут считаться изоляторами.) Энергия электрического тока преобразовывается в тепловую именно в тех частях цепи, которые оказывают ему наибольшее сопротивление, как будто — если опять прибегнуть к аналогии — вследствие какого-то внутреннего трения.

319. По части химических действий электрического тока мы можем произвести с нашими источниками лишь очень немногое. Пропустим ток от двух звонковых элементов или от батарейки карманного электрического фонарика через насыщенный раствор медного купороса, в который опущены две коксовые палочки (рис. 349). Через минуту или две та из них, которая сообщена с отрицательным полюсом, покроется красивым розово-красным слоем меди. Если переместить проволоки так, чтобы ток прошел через раствор в обратном направлении, то медный осадок мало-по-малу исчезает и появляется на другой палочке, которая теперь сообщается с отрицательным полюсом (см. еще рис. 350). Другой опыт, который можно

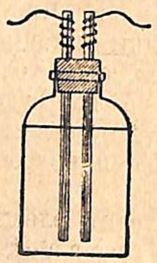


Рис. 349.

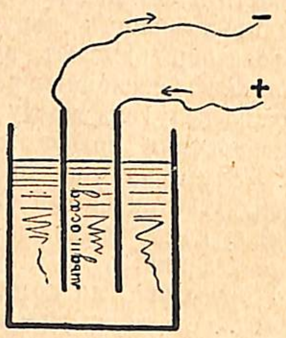


Рис. 350.

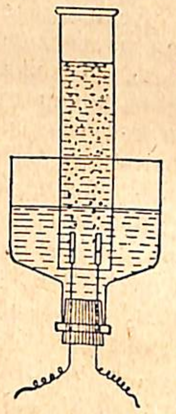


Рис. 351.

произвести с тем же источником, — получение водорода и кислорода из воды с небольшою примесью серной кислоты. Мы упоминали (§ 303), что при электрическом разряде через воду на положительном конце выделяется кислород, а на отрицательном водород. Действием электрического тока легко получить газы в гораздо большем количестве. На рис. 351 изображен приборчик для собирания смеси обоих газов—так называемого гремучего газа, дающего, при зажигании, вспышку (здесь вполне безопасную). При чем тут прибавляемая к воде серная кислота—нельзя сделать достаточно понятным для незнакомых с химией.

II. Преобразование механической работы в электрический ток; индукционные токи.

320. Чтобы ознакомиться с важнейшими явлениями, которыми характеризуется электрический ток, мы пользовались гальваническими элементами. Для опытов в малом виде это пока один

из самых удобных и доступных источников тока. Но на практике электрические токи получаются с помощью особых машин, которыми механическая работа (парового или другого двигателя) преобразовывается в энергию электрического тока. Здесь мы вступаем в область, очень трудную для первоначального ознакомления, и вынуждены ограничиться самым общим понятием.

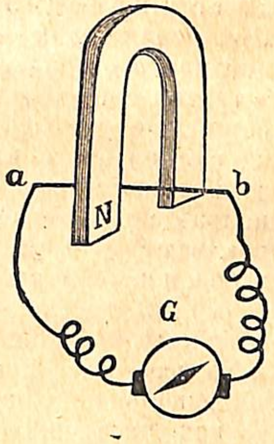


Рис. 352.

Вспомним, что движущееся по проводнику электричество возбуждает вокруг него магнитные действия. Опыт показал, что, наоборот, если известным образом двигать замкнутый проводник в пространстве около магнитных полюсов, то можно возбудить в проводнике движение электричества—получить электрический ток. Например, с очень сильным магнитом (электромагнитом) и чувствительным гальваноскопом надлежащего устройства можно было бы произвести следующий опыт. Сообщив с гальваноскопом (*G*) концы медной проволоки *ab* (рис. 352), быстро передвинем ее между концами магнита поперек линии, соединяющей полюсы (т.-е. вверх или вниз): гальваноскоп покажет возникновение тока, который длится только пока перемещается проводник. При этом с перемещением проводника в ту или другую сторону связано направление появляющегося в нем тока. В нашем опыте движение проводника *ab* вниз возбуждает ток одного, а вверх—противоположного направления. Положим, что между полюсами магнита (рис. 353) вращается вокруг оси *AB* проволочный проводник, имеющий вид кольца или прямоугольника и замкнутый каким-нибудь внешним проводником (пунктирная линия *C*). В таком случае направление тока в проволочном проводнике будет меняться, как только он своею плоскостью станет под прямым углом к линии, соединяющей полюсы магнита (положение, которое именно изображено на рисунке). На счет затраты

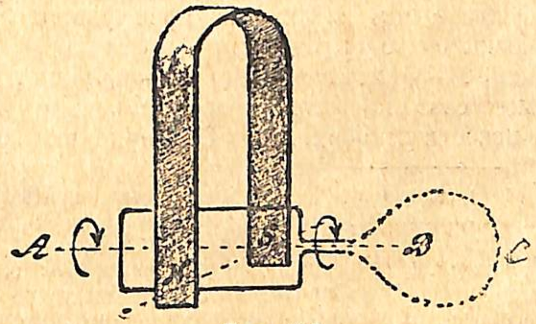


Рис. 353.

какой энергии возникает здесь электрический ток? Опыть-таки показывает, что **движение проводника вблизи магнита встречает какое-то особое противодействие или сопротивление, которое приходится преодолевать, т.-е. затрачивать энергию.** При надлежащих — нелегко выполнимых — условиях сопротивление прямо ощущается рукою, двигающей проводник [1]. Работа, затрачиваемая на преодоление этого сопротивления, и является источником возникающего в проводнике тока, который называется **наведенным или индукционным током.**

Мы встречаемся здесь с новым видом электрического тока, направление которого более или менее быстро меняется. Его называют — в отличие от тока **постоянного направления**, образцом которого служит доставляемый гальваническими элементами, — током переменного направления или **переменным током.** Действия переменного тока гораздо сложнее и разнообразнее и во многих отношениях отличаются от действий тока постоянного направления. Понятно, что явления, в которых то или иное направление тока играет существенную роль — каково, например, обычное намагничивание или разложение током — будут происходить совсем иначе, когда направление тока периодически меняется. Но, например, нагревание и накаливание проводников происходит независимо от направления тока; поэтому переменный ток может быть применяем для электрического освещения. На практике переменный ток применяется даже чаще постоянного направления, потому что представляет сравнительно с последним некоторые преимущества, делающие его экономически более выгодным.

321. Описывая выше основной опыт индукции токов (рис. 352), мы сказали, что проводник надо двигать между полюсами «известным образом». Эта прибавка очень существенна. Пространство, окружающее магнит и называемое **магнитным полем**, во многих отношениях—замечательнейшее пространство, какое можно себе представить. Мы уже упоминали об особом сопротивлении, которое встречает движущийся в нем проводник. Прикроем магнит листом бумаги, посыплем его слегка мелкими железными опилками и будем осторожно постукивать по бумаге пальцем, тем самым встряхивая опилки: опилки скоро расположатся в ряды кривых линий, которые как бы сходятся к полюсам (рис. 354). Между полюсами подковообразного магнита получается картина, представленная на рис. 355. Каждая железная частичка временно становится магнитом — как бы маленькой магнитной стрелкой; все такие магнитики, взаимно притягиваясь концами и сцепляясь, располагаются по направлению действия магнитной силы в данном месте поля (как расположилась бы маленькая магнитная стрелка в том же месте); таким образом, удается проследить направления, по которым в разных точках поля — в плоскости бумаги — действуют магнитные силы. (Легкое встряхивание, ослабляя трение опилок о бумагу, делает их более подвижными.) Подобные же действия распространяются от магнита, конечно, не только в плоскости бумаги, но и во всякой другой плоскости, проходящей через оба полюса магнита. Таким образом со словом «поле» соединяется здесь представление некоторого **пространства, окружающего магнит со всех сторон**, а не одной лишь горизонтальной плоскости,

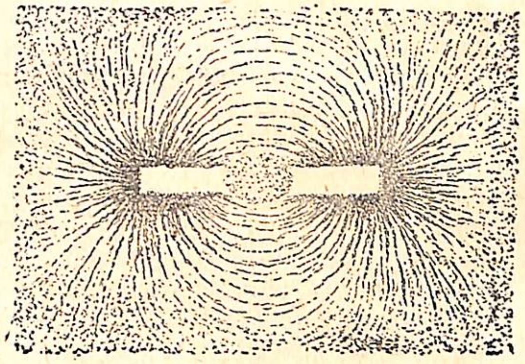


Рис. 354.

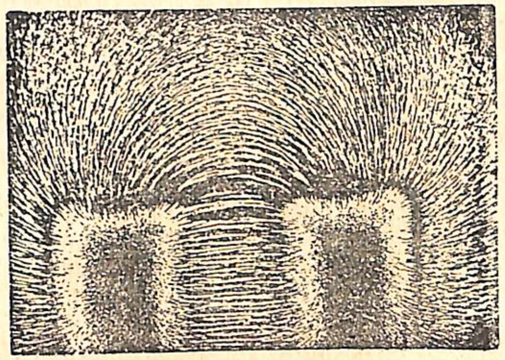


Рис. 355.

[1]) Если толстый медный брусок двигать рукою между полюсами сильного электромагнита, поперек прямой, соединяющей его полюсы, то получается такое ощущение, как будто брусок находится **в вязкой жидкости**, и сопротивление становится тем ощутительнее, чем быстрее мы пробуем двигать проводник. При достаточно быстром движении (помощью особого механизма) можно достичь того, что проводник станет **накаливаться** вследствие значительного развития теплоты на счет затрачиваемой работы — как будто происходило какое-то трение между проводником и окружающею средою (но, конечно, не воздухом, присутствие которого здесь вовсе и не нужно). Подобный опыт оставляет неизгладимое впечатление: он точно дает нам почувствовать, что пространство между проводником и полюсами электромагнита, кажущееся нам «пустым», на самом деле не есть пустота. (Нелишне иметь в виду, что проводник берется **медный**, и что, следовательно, здесь вовсе не преодолевается какое-либо «притяжение» к его магниту.)

*

как могло бы, пожалуй, показаться из опыта с железными опилками на бумаге.

Линии, намечаемые в подобных опытах железными опилками, называются **силовыми линиями** магнитного поля. Надо заметить, что поле магнитного бруска или подковообразного магнита является только **одним из многих** примеров «магнитного поля», представляющего, вообще, большое разнообразие в свойствах. Особенно сложное «строение» может иметь магнитное поле, возбуждаемое электрическим током; но мы должны ограничиться сказанным. Точно так же мы ничего не могли бы ответить читателю, если бы он поинтересовался узнать, что же такое представляют собою эти загадочные силовые линии? Дело в том, что они пока — нечто загадочное и для физика, но тем более для него привлекательное.

Переходя опять к возбуждению индукционного тока, мы добавим, что в проводнике только тогда возникает ток, когда проводник, при движении, **пересекает силовые линии** магнитного поля; в случае движения **вдоль** силовых линий, никакой особой работы на перемещение не затрачивается, и тока не возникает. Тщательными исследованиями выяснено, какую форму надо дать проводнику, и как его следует двигать в магнитном поле, чтобы наилучшим образом использовать индукционное действие — чтобы проводник в течение данного времени (в единицу времени) пересекал как можно больше силовых линий. С применяемыми на практике **динамо-электрическими** машинами, основанными на индукции токов в магнитном поле, мы познакомимся в следующей главе.

III. Обзор и добавления.

322. Цинковая и медная пластинка, опущенные в разбавленную серную кислоту, составляют простейший электрический или гальванический элемент. Медная пластинка служит положительным полюсом — на ней скопляется положительный заряд; цинковая с отрицательным зарядом образует отрицательный полюс. При соединении пластинок проводником (замыкании цепи) в последней течет электрический ток. За направление тока принимается то, в котором движется положительное электричество, т.-е. направление от медной пластинки к цинковой. Внутри элемента также идет ток, но здесь направление его обратное — от цинка к меди. Гальванических элементов существует много различных типов. Во всех них электрическая энергия создается за счет того химического взаимодействия, которое происходит между веществами, составляющими элемент.

Проводник, по которому идет ток, возбуждает вокруг себя магнитные действия, создает магнитное поле. Магнитная стрелка, помещенная вблизи проводника, отклоняется от своего обычного направления, железо намагничивается. Железный стержень, на который намотана изолированная проволока, при пропускании по ней тока образует временный, но сильный магнит. Это так называемый электромагнит. Северный полюс в таком электромагните будет на том конце, где ток идет по направлению, обратному движению стрелки часов (если смотреть, обратив конец стержня к себе); другой конец (ток идет по направлению движения стрелки часов) будет южным.

Проводник, по которому идет электрический ток, всегда более или менее нагревается. Степень нагревания зависит, во-первых, от источника тока и, во-вторых, от размеров проводника (длины и толщины) и материала, из которого он состоит. Проволока более тонкая представляет току большее сопротивление, железо большее, чем медь, а кокс еще большее. Энергия электрического тока преобразуется в тепловую именно в тех частях цепи, которые оказывают ему наибольшее сопротивление.

При прохождении электрического тока через химически сложные вещества последние разлагаются на составные части: из медного купороса выделяется медь (на отрицательном полюсе), вода (к которой прибавлена серная кислота) дает кислород у положительного полюса и водород у отрицательного и т. д.

При движении проводника вблизи магнита или электромагнита в проводнике возникает ток, называемый индукционным. Последний получается в результате затраты работы на пересечение магнитных силовых линий магнитного поля. Если такого пересечения не происходит, — тока не создается.

323. В физике «магнитным полем» интересуются гораздо чаще, чем самым «магнитом». Во множестве случаев, разбирая магнитные действия, заменяют магнит силовым полем, которое он вокруг себя производит. Так, например, действие одного магнита на другой рассматривают как действие поля одного магнита на поле другого. Если магнитное поле производится **электрическим током**, то и он будет действовать на поле магнита, а через него и на самый магнит. Пример этого мы уже имели: электрический ток определенным образом направляет магнитную стрелку. Но раз существует такое действие, надо ожидать, что оно **взаимно**, т.-е. что силовое поле магнита, в свою очередь, оказывает действие на электрический ток. В самом деле, если пропустить ток по проволоке, расположенной достаточно подвижно, и поднести к ней магнит, то проволока может притти в движение. Опишем лишь следующий любопытный опыт. Около вер-

тикально установленного магнитного бруска (рис. 356) подвешивается свободно очень тонкая металлическая тесьма («бить»), прикрепленная концами к более толстым проволокам, которые служат для подвода электрического тока. Лишь только ток будет пропущен по металлической тесьме, она тотчас обвивается вокруг магнита—в ту или другую сторону, смотря по направлению тока.

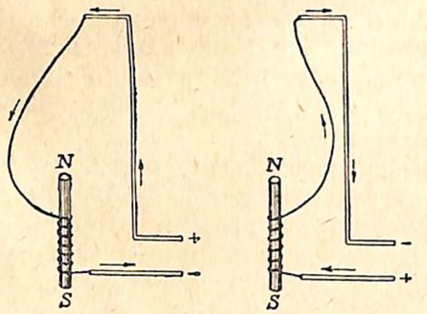


Рис. 356.

Магнитные поля двух токов тоже взаимно действуют. Например, если по двум подвижным проволокам, расположенным параллелью поблизости одна от другой, пропустить электрический ток, то проволоки или сближаются (как бы «притягиваются») или отдаляются («отталкиваются»), смотря по направлению токов. (Обе проволоки, например, просто подвешивают за концы так, чтобы они отвисли вниз, и пропускают через них достаточно сильный ток.)

Ни в какие подробности этих явлений мы здесь входить не можем [1]).

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ СЕДЬМАЯ.

Электричество на службе человеку.

I. Предварительные замечания.

324. Две главные особенности электрического тока обусловливают многочисленные применения этой формы энергии: 1) удобопревращаемость в другие формы—теплоту, механическую энергию, химическую и т. п., 2) быстрота и легкость передачи на расстояния по металлическим проводам в любом направлении. Трудно было бы даже перечислить все то множество случаев, в которых электрический ток является к услугам человека, тем

[1]) Кстати заметим, что в физике и действия наэлектризованного тела на окружающие тела сводятся к действию «силового электрического поля» вокруг этого тела. Но свойства электрического поля во многих отношениях иные, чем магнитного.

более, что круг его применений растет с поразительной быстротой. На почве приложений электрического тока к практике в несколько десятилетий выросла уже огромная новая область техники — электротехника. Едва ли где больше наука и техника так дружно идут рука об руку, как здесь. Вот почему мы вынуждены и в этой главе сильно стеснить наше повествование: чтобы настоящим образом понимать приложение электрического тока, надо сперва еще многому поучиться, да и попрактиковаться.

II. Как получают и распределяют электрический ток на практике.

325. Техническое производство электрического тока основано, главным образом, на индукции (§ 320). Служащие для этого машины называются динамоэлектрическими машинами, или просто динамомашинами; подвижная часть их вращается обыкновенно паровыми или водяными двигателями. Представьте себе сперва большой магнит со сближенными между собою (как в подковообразных магнитах) широкими концами *N*, *S* (рис. 357); в промежутке между ними, в поле этого магнита, может быстро двигаться тот проводник, в котором именно возбуждается индукционный ток: он состоит из сомкнутой концами медной проволоки, намотанной по известным правилам, на вращающуюся часть машины, ее «якорь» или «барабан» (на рисунке — просто кружок *A*). Из него индукционный ток или прямо отводится по проволокам для целей потребления, или сперва преобразовывается в ток постоянного направления, помощью особого дополнительного «коллектора» (собирателя), вращающегося вместе с валом якоря.

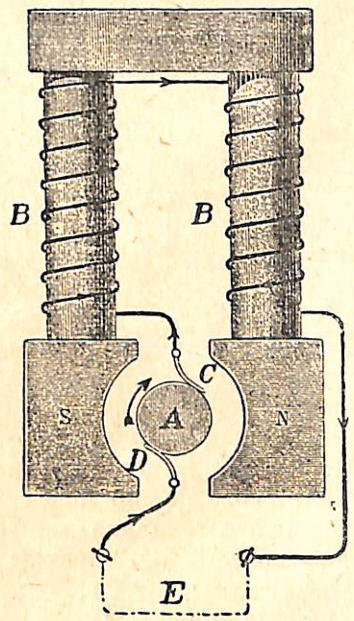


Рис. 357.

В устройство якоря и коллектора вложено немало мысли и изобретательности — вот все, что мы о них можем сказать, так как описывать их подробнее не будем. Обратим внимание на другое. Для возбуждения тока нужен магнит, большой и сильный.

Во всех отношениях лучше всего было бы заменить его электромагнитом. Но электромагнит требует для намагничивания уже готового тока. Как тут быть — если не пользоваться сравнительно очень дорогим током гальванических батарей? Затруднение разрешено следующим гениальным образом. Железо всегда слабо намагничено действием магнетизма земли. Таким образом можно уже получить индукционный ток, хотя и очень слабый, если вращать обмотку *A* между полюсами такого слабого железного магнита. Но обмотаем его ветви, как обматывают электромагнит, той са́мой проволокой, которая принимает ток из вращающейся обмотки *A*. Этот ток будет намагничивать железные массы *B*, *B* и усиливать их магнитное действие, вследствие чего усилится и индукционный ток в обмотке. От этого, в свою очередь, электромагнит станет сильнее и т. д. Опыт показывает, что при быстром вращении обмотки динамо-машина через короткое время начинает работать «во всю»... Итак, наша машина, дающая такие замечательные действия, вовсе не будет нуждаться в постоянном (стальном) магните. Проследим на рисунке по стрелкам, как идет ток. Индукционный ток принимается из барабана пластинкой или «щеткой» *C* (которая скользит не по нему самому, как для простоты показано на рис., а по связанной с ним части на его валу), обходит по обмотке электромагнита и возвращается по пути *E* и через другую щетку *D* в барабан: ток и здесь, как в случае гальванического элемента, идет по замкнутому круговому пути. Пунктиром обозначена та часть *E* цепи, в которой ток потребляется для освещения или других целей. Внешний вид одной из динамо-машин изображен на рис. 358.

Здесь внимательный читатель не может не спросить: что же — это создание энергии из ничего? Где та затрата энергии, которая возмещала бы энергию тока, производящую такие действия, как, например, освещение улицы или передвижение трамвая? Ведь перед нами первоначальное слабое намагничивание железа — нечто, совершенно исчезающее... Но вспомним о затрате энергии, которая нужна для движения замкнутого проводника в магнитном поле (§ 320) против какого-то особого сопротивления; эта затрата тем больше, чем больше энергия производимого машиною индукционного тока — чем сильнее магнитное поле. Вертеть машину гораздо труднее, когда идущие от ее полюсов провода сомкнуты, чем когда они разъединены, и, следовательно, тока нет; сопротивление прямо чувствуется рукою, если проделать опыт со школьною моделью. (Это напоминает соответственную пробу с электрофорной машиной, § 304.) Если, сообщив рукоятке быстрое вращение, при разомкнутых проводах, отнять руку и тотчас же

замкнуть цепь, то машина быстро останавливается, как бы под действием тормаза. Читатель, конечно, вправе пойти дальше и задать вопрос: какова причина того добавочного противодействия, преодолением которого создается энергия тока? В рассмотрение этого явления мы здесь входить совершенно не можем; оно тесно связано с вопросом о том, что такое силовые линии

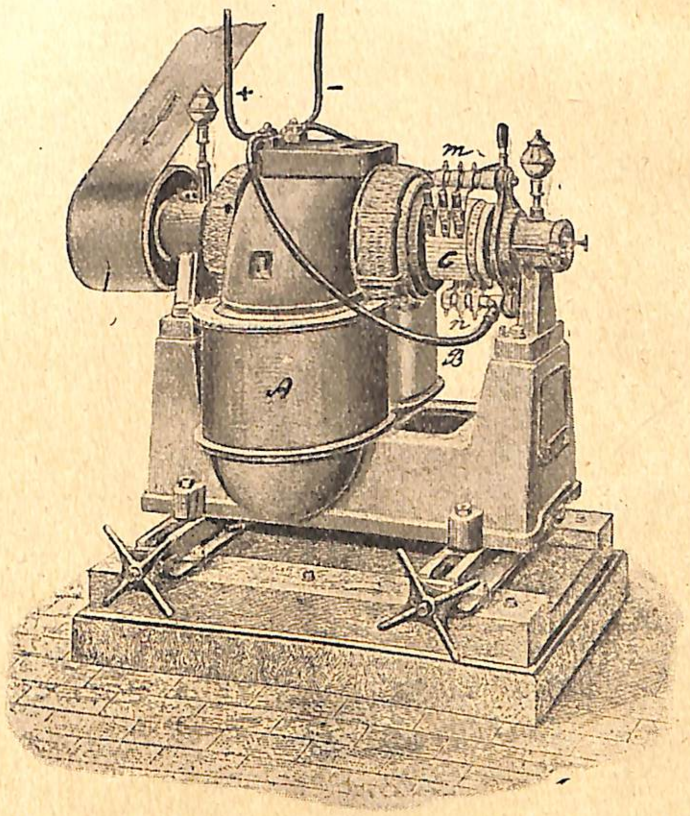


Рис. 358. Динамомашина.

магнитного поля, и представляет для физика пока еще тоже немало загадочного: вполне простительно, если оно останется под вопросом и для читателя...

326. На рис. 359 изображено для примера машинное помещение небольшой электрической станции. Слева динамо-машины, подвижные части которых прямо положены на валы, вращаемые работою пара, при помощи паровых цилиндров (справа наверху на рис.). Пар доставляется в цилиндрах по трубам от

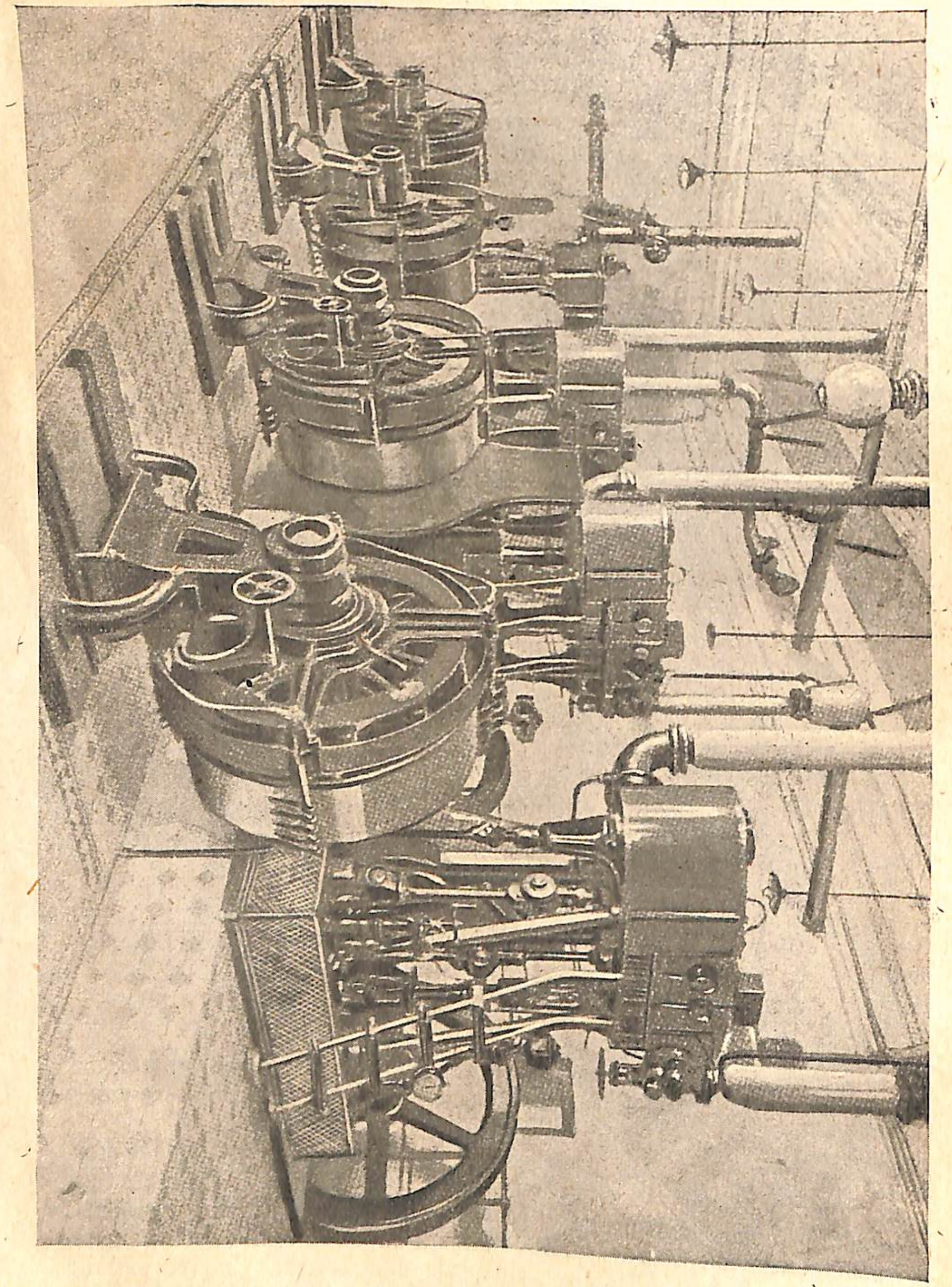


Рис. 359. Электрическая станция.

паровых котлов, находящихся в отдельном помещении. (Устройство динамо-машин отличается от описанного, в немногих словах, выше.) От электрической станции ток в места потребления доставляется обыкновенно посредством подземных медных (изолированных) проводов, электрических кабелей, которые, постепенно разветвляясь по разным направлениям, подобно водопроводным или газопроводным трубам, образуют собою то, что называется в технике электропроводной сетью.

III. Об электрическом освещении и других применениях тепловых действий тока.

327. В цепи, по которой проходит электрический ток, нагреваются преимущественно те части, которые труднее проводят ток (§ 318). Рассмотрите обыкновенную калильную электрическую лампу. В ней светит очень тонкая, накаливаемая током до высокой температуры, металлическая или угольная нить (рис. 360 и 361); она помещается внутри тонкостенного стеклянного сосуда грушевидной или шарообразной формы; чтобы нить из угля или металла не сгорала, а только накаливалась, из оболочки удален воздух. Концы нити прикрепляются к двум платиновым проволочкам, пропущенным сквозь стекло, в которое они впаяны; одна из проволочек припаивается к медной гильзе (b) с винтовым нарезом, надетой на фарфоровую оправу лампы, а другая к медной пластинке (c), снизу оправы. Лампа ввинчивается в патрон, внутренная винтовая нарезка которого сообщена с одним из электрических проводов, а металлическая часть в основании — с другим; когда пластинка c прижмется к основанию патрона, ток будет замкнут угольною нитью, которая и накаливается; но стоит лишь немного повернуть лампочку в патроне в обратную сторону (вывернуть), и ток будет разомкнут. Замыкание и размыкание тока, однако, удобнее производится посредством так называемых выключателей, в которых поворотом рукоятки концы проводов или приводятся в соприкосновение или разъединяются.



Рис. 360. Электрическая лампочка с угольной нитью.

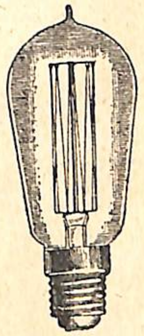


Рис. 361. Электрическая лампочка с металлической нитью.

328. В электрических лампах, дающих наиболее сильный свет, применяется другой способ накаливания. Две заостренных коксовых палочки сближают до соприкосновения концами и пропускают электрический ток: концы углей тотчас накаливаются. Если ток достаточно силен, то угли после сближения можно несколько раздвинуть, и ток не прекращается; промежуток между углями остается сильно накаленным, а самые концы углей издают ослепительный свет. В этом промежутке, состоящем из раскаленных газов и воздуха и угольных частичек, замечается нечто вроде пламени, принимающего обыкновенно дугообразную форму: отсюда и самое явление получило название электрической или вольтовой дуги (см. рис. 362). Таким путем получается чрезвычайно высокая температура, при которой железо быстро сгорает, а платина — один из самых трудноплавких металлов — тает, как воск в пламени свечи. Пластинка из стали или железа протыкается раскаленным углем вольтовой дуги с такою же легкостью, как стеариновая свеча горячим гвоздем; проделывать отверстия этим путем удается и под водою. Свет вольтовой дуги — самый сильный, какой только можно получить искусственно: уличные «дуговые» лампы обыкновенно заменяют собою более 1000 свечей; при достаточном токе можно получить вольтову дугу и в сотню тысяч свечей.

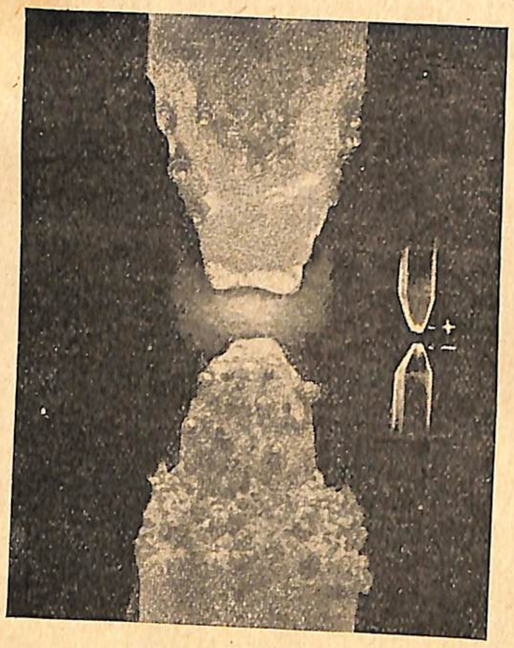


Рис. 362. Вольтова дуга.

Легко видеть, как велики преимущества электрического освещения. Калильные лампы, которые в особенности применимы внутри зданий, не поглощают кислорода из воздуха и не развивают углекислого газа, не коптят и дают сравнительно мало тепла; любое число ламп может быть приведено в действие и погашено поворотом выключателя; лампы почти совершенно безопасны

в пожарном отношении. Лампы с оболочками из цветного стекла доставляют необыкновенно разнообразное и легко изменяемое декоративное освещение; лампы надлежащих размеров и формы удобно вводятся в весьма тесные пространства, даже во внутренние части живого организма — для их исследования путем просвечивания; лампы могут светить, если нужно, и под водою. Что касается вольтовой дуги, то она доставляет нам свет, который по силе уступает только солнечному. Немудрено, что электрическое освещение в такой степени распространилось за последние десятилетия, и можно себе представить, как велико должно быть стесненное положение большого города, вдруг остающегося без электрического освещения.

329. Из множества других применений тепловых действий тока упомянем о нагревательных аппаратах, успешно заменяющих собою обычные способы нагревания помощью дров, угля, керосина, спирта и т. п. На рис. 363 изображен, например «электрический» чайник» для кипячения воды. Вода наливается в металлический сосуд, вделанный внутрь чайника и окруженный проводником, который так подобран, что достаточно сильно нагревается током, лишь только прибор будет включен в цепь при помощи «вилки» или «штепселя» *a* (как включают и электрические лампы). Легко представить себе подобного же устройства «электрический самовар». Сходным образом делаются электрические сковородки, кастрюли и другие принадлежности «электрической кухни». Упомянем еще об электрических утюгах, паяльниках, зажигателях и прижигателях, разных электрических грелках, электрических печах для нагревания помещений... Нельзя в этой области указать границ удобоприменимости электрического тока. Но в большом ходу все эти вещи только там, где производство и доставка электрической энергии обходятся сравнительно дешево (почему и как — увидим ниже).

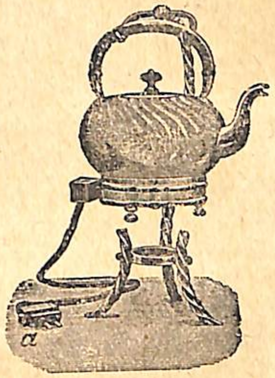


Рис. 363. Электрический чайник.

На рис. 364 представлено применение вольтовой дуги к устройству электрической печи для тугоплавких материалов. Температура внутри печи может достигать 4000° Ц, а при повышенном давлении и 6.000° Ц; в таком жару все известные нам тела не только плавятся, но и превращаются в пар, и самый материал печи не выдержал бы продолжительного нагревания. Эффекты электрической печи, состоящие в быстром расплавлении и кипячении самых огнеупорных веществ, превосходят всякое

описание. Если произвести вольтову дугу между углем и каким-либо металлическим предметом, то последний на месте образования вольтовой дуги легко плавится.

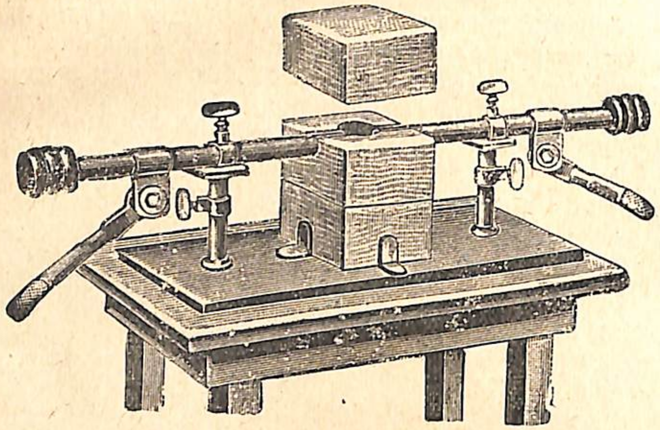


Рис. 364. Электрическая печь.

На этом основывается *электрическое паяние*, *электрическая сварка железных и других частей*. Таким образом, удается, например, соединять в одно прочное целое сломавшиеся толстые машинные валы.

IV. Применения химических действий тока.

330. Химические действия тока также применяются в разнообразнейших случаях: простой перечень их занял бы уже немало места. Область применений сосредоточивается, главным образом, около получения различных тел путем химического разложения или химического соединения веществ при содействии энергии тока. То и другое обыкновенно производится пропусканием тока (постоянного направления) или чрез растворы, или чрез расплавленные в электрической печи вещества.

Многие металлы выделяются из растворов их соединений (солей) действием электрического тока, при чем металл всегда осаждается на проводнике, сообщенном с отрицательным полюсом источника тока. Примером уже служило выше осаждение меди (§ 319). Таким путем, беря растворы солей соответственных металлов, можно покрывать тем или иным металлом какую-нибудь другую металлическую (или неметаллическую, но доста-

точно проводящую) поверхность; на этом основано гальваническое *серебрение*, *золочение*, *никкелировка* и пр. Затем осаждение достаточно толстого и прочного металлического слоя на рельефные поверхности позволяет получать точные *гальванопластические копии* с оригиналов, для чего обыкновенно с последних делаются сперва оттиски, на которые уже осаждают металл (медь, цинк и др.). На этом основывается изготовление хороших типографских клише для печатания в большом количестве рисунков, чертежей, карт и пр. В особенности важно, что удалось применить этот прием к изготовлению рельефных рисунков по фотографическим снимкам с натуры или с хороших оригиналов, благодаря чему художественные иллюстрации сделались несравненно доступнее, чем прежде, когда печатное воспроизведение их по оригиналу обходилось очень дорого.

С другой же стороны, получение металлов электрическим путем нашло важные применения в технике *добычи металлов из их руд* или других химических соединений, изготовляемых заводским способом—в металлургии. Так получают, например, очень чистую медь из содержащих ее сложных веществ, чрез раствор которых пропускают электрический ток. Так извлекают из соответственных растворов золото и некоторые другие металлы.

331. В особенности же мощным оказался этот способ извлечения металлов при содействии высокой температуры электрической печи. Таким образом, соединяя плавку с разложением действием тока, добывают ныне в большом количестве легкий металл алюминий (входящий, между прочим, в состав глины), большие запасы которого в земле прежде не могли быть технически использованы. Из расплавленных соединений получают также магний.

Высокая температура электрической печи дала возможность превращать *уголь в алмаз* в большем (хотя все еще незначительном) количестве, чем это делалось раньше.

Затем в последние годы при содействии электрических печей удалось в достаточных количествах добыть несколько металлов, свойства которых были мало изучены, вследствие трудности их получения прежними (не-электрическими) способами.

Нельзя не упомянуть и о том, что действием электрического тока при высокой температуре были приготовлены интереснейшие и важные по применениям новые химические соединения. Назовем из них хотя бы соединение угля с металлом кальцием (входящим в состав известняков), так называемый *карбид кальция*. Вещество это при обливании водою вступает с нею в химическое взаимодействие, образуя ацетилен — газ, горящий

очень ярким пламенем; последнее, в связи с легкостью добычи, сделало его ныне очень хорошим в известных случаях осветительным материалом.

Применение вольтовой дуги в химической промышленности обещает крупные успехи еще и в ином направлении — в деле изготовления искусственных удобрений, столь необходимых для поддержания и улучшения производительности почвы. Дело в том, что один из существеннейших элементов всякого растительного (и животного) организма, азот, не усваивается большинством растений прямо из воздуха, а, главным образом, в виде некоторых химических соединений (азотной кислоты и аммиака), которые и являются важною составною частью удобрения. Некоторые необходимые для этого химические соединения азота уже удается ныне с помощью энергии вольтовой дуги добывать заводским путем, пользуясь атмосферным азотом, огромные запасы которого в воздухе могут, таким образом, послужить на пользу сельскому хозяйству.

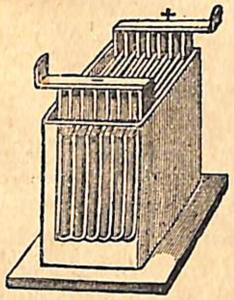


Рис. 365. Аккумулятор.

332. В заключение упомянем об аккумуляторах, химических производителях тока, применяющихся очень часто вместо гальванических элементов. В состав наиболее распространенных аккумуляторов входят некоторые химические соединения свинца, наслоенные на свинцовые пластины, и разведенная серная кислота. Общий вид аккумулятора представлен на рис. 365. При пропускании через аккумуллятор электрического тока происходит зарядка аккумуятора, при которой за счет энергии проходящего тока запасается энергия образующихся вновь химических веществ. Эта энергия используется при разрядке аккумулятора, когда обратным превращением хиимческих веществ создается электрическая энергия.

V. Электрическая передача работы на расстояние

333. Динамоэлектрическая машина не только доставляет электрический ток при вращении ее якоря или барабана: она оказывает еще другую услугу. Если пропускать со стороны ток в ее подвижную часть, то последняя начинает вращаться—машина преобразовывается в электродвигатель или электромотор. Динамомашиною работа превращается в энергию электрического тока, а электродвигатель, наоборот, доставляет работу насчет энергии тока. Можно представить себе ближайшие последствия этого замечательного двойного преобразования. Ведь так можно передавать работу парового или иного двигателя по проволокам на большие расстояния. Двигатель приводит в действие динамомашину, а ток ее по изолированным проводам — подземным или подвешенным на изоляторах подобно телеграфным — доставляется электродвигателю, от которого уже движутся рабочие машины. Для примера на рис. 366 изображен токарный станок, приводимый в движение электромотором, который установлен на станке снизу и соединен зубчатой передачей с его валом. Источник тока может находиться от станка в десятках верст расстояния. Таким образом можно, конечно, одновременно приводить в действие множество рабочих механизмов и приспособления целого завода, которому ток доставляется из более или менее отдаленного машинного помещения с его паровыми двигателями, котлами и печами. Надо видеть,

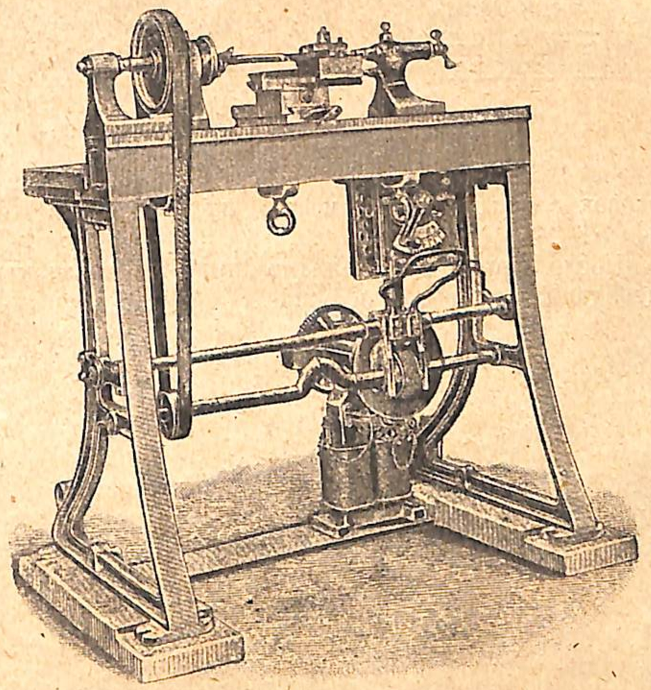


Рис. 366. Токарный станок, приводимый в движение электромотором.

как надежно, чисто и изящно выполняются иногда огромные работы посредством механизмов, которыми управляет почти что

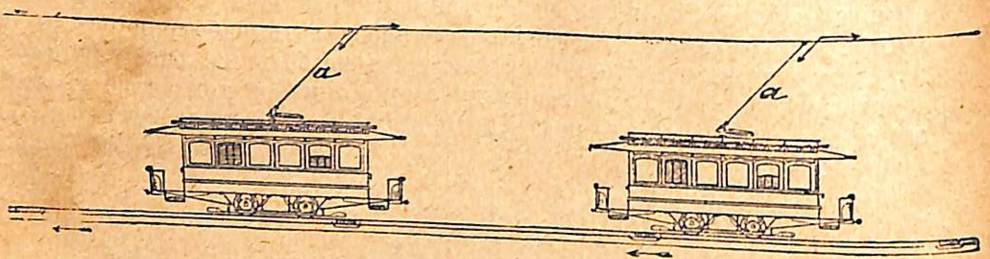


Рис. 367. Трамвайный вагон.

один человек с центрального места, пуская ток в те или другие провода!

334. После этого будет понятно применение электродвигателей к передвижению вагонов, экипажей, судов и пр. — к э л е к-

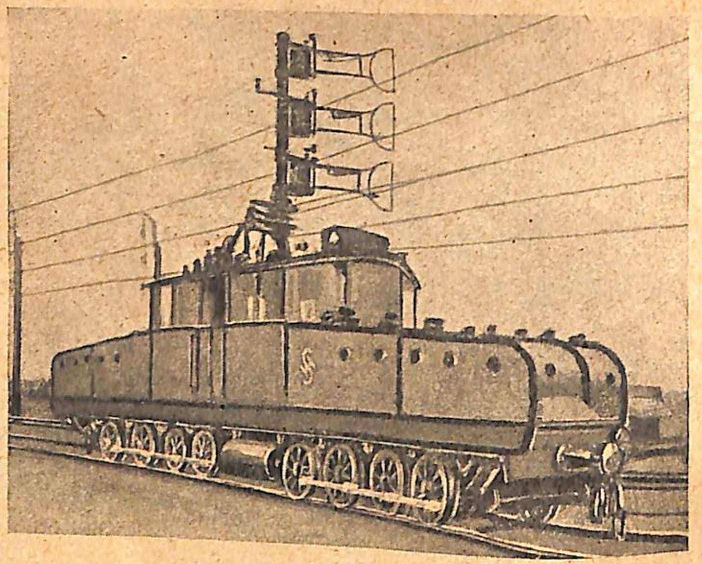


Рис. 368. Электровоз.

т р и ч е с к и м ж е л е з н ы м д о р о г а м и э л е к т р и ч е с к и м л о д к а м. Если на основной раме вагона установить электродвигатель, соединенный с осью вагонного колеса, то вагон

станет двигаться при пропускании тока чрез электродвигатель. Ток чаще всего доставляется от электрической станции по проводу, подвешенному к столбам на изоляторах; отсюда, чрез посредство скользящей вдоль провода металлической части (*a* рис. 367), ток идет к вагону, проходит чрез электродвигатель, откуда уходит по вагонным колесам и рельсам. Пробовали пускать нарочно устроенные для опытов «электровозы» (вроде изображенного на рис. 368) и достигали—пока лишь на коротких расстояниях — скорости почти 200 верст в час.

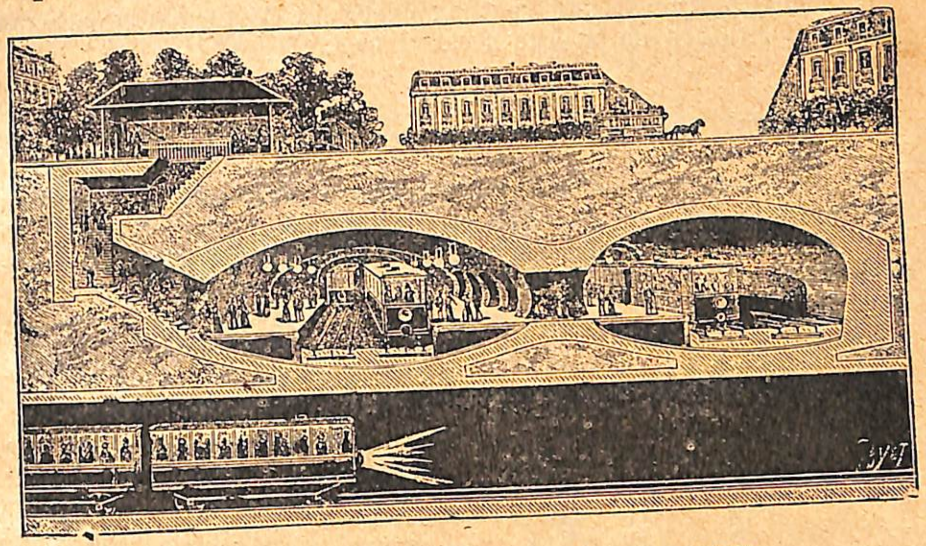


Рис. 369. Подземная железная электрическая дорога.

Очень широкое распространение получили в особенности городские электрические дороги, трамваи. Многие большие города имеют ныне целые сети электрических железных дорог, делающих сообщение быстрым и удобным. Незаменимую услугу оказал электрический способ передвижения при устройстве п о д з е м н ы х ж е л е з н ы х д о р о г. Для примера рис. 369 дает разрез через часть подземных железнодорожных туннелей Парижа, которые местами, как именно представлено на рисунке, расположены в два этажа. Электрическим током вместе с тем эти подземные галлереи освещаются и—помощью электрических вентиляторов—проветриваются.

335. Но особенно важно применение, которое нашли, благодаря электрической передаче работы, другие природные источники энергии, кроме топлива, главным образом—горные источники

и водопады. В настоящее время имеется уже много мощных центральных станций, где динамомашины приводятся в действие не паровыми машинами, а водяными — работою падающей воды. Ток передается затем по целой сети проводов в места его потребления для различнейших целей; дальность передачи местами считается уже сотнями верст. Всего дешевле обходится добыча электрического тока именно в местностях, изобилующих горными водяными потоками, каковы напр. Швейцария, Италия, Франция, Скандинавские государства и др. В С. Америке, между прочим, знаменитый Ниагарский водопад снабжает по проводам рабочим током местности на многие десятки верст вокруг [1]).

VI. Телеграф и электрический звонок.

336. Обращаемся к приспособлениям для быстрой передачи условных знаков на большие расстояния.

На рис. 370 изображен в упрощенном (схематическом) виде наиболее распространенный **телеграфный аппарат Морзе** (см. также более полный рис. 371). Ток проходит из телеграфной линии, со станции подачи, где его при помощи **клавиши** замыкает телеграфист, чрез электромагнит *A*; против него находится якорь из мягкого железа *B*, прикрепленный к концу рычажка, могущего поворачиваться около оси *C*; другой конец рычажка снабжен шпеньком *Д*. Всякий раз, как ток пущен, якорь *B* притягивается к электромагниту, и конец *Д* рычажка приподнимается; шпенек нажимает тогда на бумажную тесьму *E*, равномерно протягиваемую между двух вращающихся валиков (направление движения тесьмы показано стрелкою). Пружинка *F*

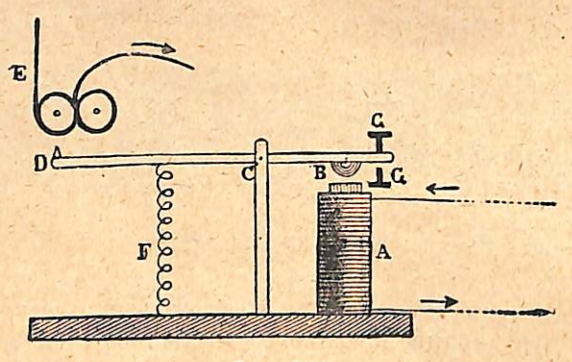
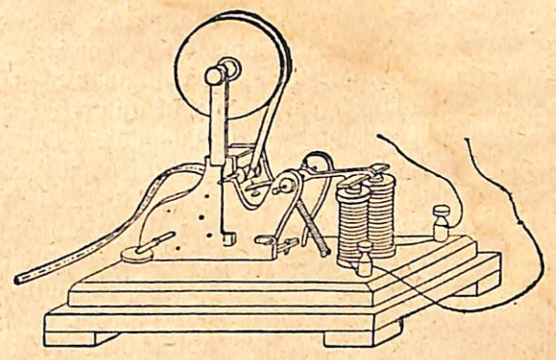


Рис. 370.

[1]) Ленинград в отношении запасов энергии падающей воды находится в довольно выгодных условиях. Иматра (в 150 верстах по прямому направлению), Нарвский водопад (130 в.) и пороги р. Волхова (100 в.) могли бы снабдить город энергией мощностью не менее сотни тысяч паровых лошадей.

служит для быстрого приведения рычажка в первоначальное положение после прерывания тока; колебания же конца *B* вверх и вниз ограничиваются задержками *G*, *G*. Значки, оставляемые шпеньком на движущейся тесьме, будут состоять из черточек разной длины, смотря по продолжительности замыкания тока: или коротких, называемых в телеграфной азбуке **точками**, или более длинных, собственно черточек. Из точек и черточек составляется вся азбука телеграфа Морзе. Вот несколько примеров:


Рис. 371. Телеграфный аппарат Морзе.

а	б	в	г	д	е	ж	з
·—	—···	·——	——·	—··	·	···—	——··

1	2	3	4	5
·————	··———	···——	····—	·····

точка	точка с запятой	запятая	двоеточие
·····	—·—·—·	·—·—·—	———···

Опускаем всякие дальнейшие подробности, которых много во всяком специальном деле. Для **подземных и подводных** телеграфных линий служат так называемые кабели (рис. 372). О громадных трудностях изготовления и прокладки океанских кабелей можно судить по тому, что первую телеграфную линию между Ирландией и С. Америкой удалось осуществить (в 1866 году)

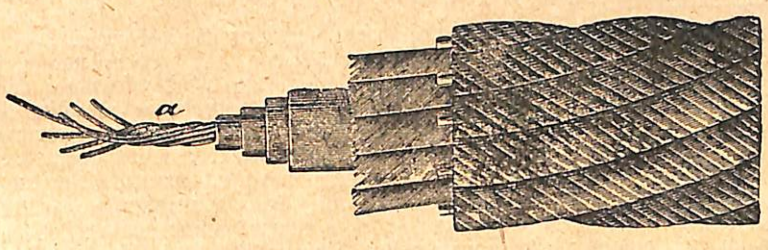


Рис. 372. Электрический кабель.

лишь после попыток, занявших восемь лет: кабель длиною в 4000 верст рвался несколько раз [1]).

Чтобы ускорить телеграфирование и сделать его независимым от специальной азбуки, были придуманы аппараты (гораздо более сложного устройства), передающие депешу буквами обыкновенного алфавита. Но этим далеко не ограничивается изобретательность в области телеграфного дела. Существуют приборы, устроенные так, что если на станции подачи писать или чертить по бумаге, то на приемной станции все написанное или начерченное воспроизводится пером, которое во всех подробностях повторяет движения руки пишущего. Чуть не каждый год приносит новые замечательные плоды изобретательности техников в этом направлении.

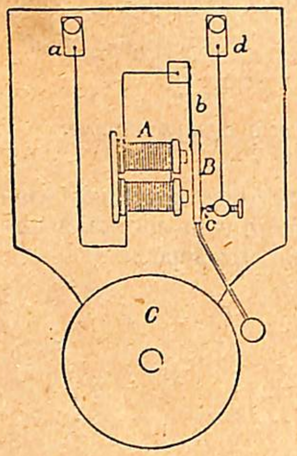


Рис. 373. Электрический звонок.

337. Всякому хорошо известен **электрический звонок** (рис. 373). Прибор включается в цепь через зажимы. От зажима ток идет в обмотку электромагнита, оттуда через пружинку с якорем и пластинку к винту, касающемуся пластинки в точке *a* и далее к зажиму. Когда нажатием кнопки приводятся в соприкосновение пластинки (рис. 373) и замыкается цепь, электромагнит притягивает якорь, и в точке *a* цепь размыкается; но упругостью пружинки якорь отводится назад — цепь вновь замыкается, и т. д. пока кнопка нажата. К якорю прикреплен молоточек, который и ударяет по чашке.

[1]) Каждый знает, в какой степени телеграф ускоряет сообщение между отдаленными местностями. Надо иметь в виду, что собственно передача знаков по телеграфной проволоке занимает весьма незначительное время по сравнению с тем, какое нужно для соблюдения очереди, доставки депеши по адресу и пр.; скорость передачи электрического действия по телеграфной проволоке, при каждом нажатии клавиши, настолько велика, что сравнительно с нею земные расстояния являются совершенно ничтожными. Вот любопытный пример того, чего можно достичь при благоприятных условиях телеграфирования. В 1896 г. праздновалось в Глазго пятидесятилетие научной деятельности знаменитого английского физика Вильяма Томсона (получившего потом титул лорда Кельвина) в Глазговском университете. Поздравительная депеша, посланная ему нарочно окольным путем—чрез Нью-Фаундлэнд, Нью-Иорк, Чикаго, С.-Франциско, Лос-Анжелос, Новый Орлеан и Нью-Фаундлэнд — была доставлена юбиляру чрез 7 минут после отправления. Ответ же великого ученого, направленный по тому же самому пути, был получен чрез четыре минуты после подачи. (Надо еще иметь в виду, что телеграфирование по океанским кабелям требует большего времени, нежели по воздушным проводам.)

VII. Телефон и микрофон.

338. По сравнению с упомянутыми в конце предыдущего параграфа аппаратами, телефон, превосходно передающий живую человеческую речь, отличается замечательной простотою устройства. Действие его основывается на электромагнитной индукции и по замыслу изобретателя сводится к следующему.

Представим себе два стальных магнита NS и N_1S_1, концы которых обвиты изолированной проволокой, образующей замкнутую цепь (рис. 374), и пусть против каждого магнита очень близко от концов находятся тонкие железные пластинки P, прикрепленные краями к неподвижной оправе. Действием магнитов эти пластинки намагничиваются. Если одна из пластинок, например правая, будет приближаема к магниту и удаляема от него, то

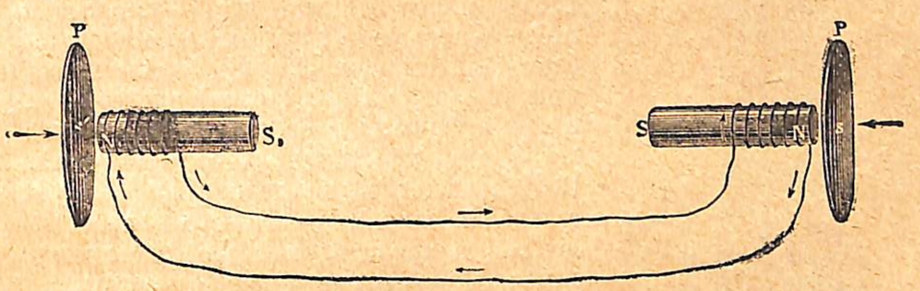


Рис. 374.

с каждым перемещением пластинки по отношению к проволочной обмотке в последней будут возникать индукционные токи (§ 320), направление которых при приближении пластинки будет одно, а при удалении—противоположное. Эти токи проходят по обмотке другого магнита (N_1S_1): здесь, смотря по направлению токов, намагниченная пластинка P либо притягивается, либо отталкивается. Таким образом, левая пластинка повторяет колебания правой. Мы имеем в одном из приборов как бы маленькую магнитоэлектрическую машину, производящую ток переменного направления, а в другом—такую же машину в роли электродвигателя. Если движение правой пластинки производится звуковыми волнами, сообщающими ей, положим, 100 полных колебаний в секунду, то 100 приближений и столько же удалений пластинки возбудят 100 токов одного направления и столько же другого; таким образом, левая пластинка совершит 100 движений в одну сторону и 100 в другую, т.-е. также 100 полных

VIII. Индукционная катушка.

340. Рассмотрим в заключение еще один очень интересный прибор, называемый индукционной спиралью или индукционной катушкой Румкорфа.

В состав прибора входят две спиральные обмотки из изолированной медной проволоки, вложенные одна внутрь другой: внутренняя из короткой и тонкой проволоки, наружная — из гораздо более длинной и очень тонкой; обмотки окружают собою сердечник из мягкого железа (пучок тонких железных проволок). На рис. 377 цифрой I обозначена первичная (толстая) обмотка вместе с железным сердечником, цифрой II — вторичная (в действительности состоящая из многих слоев или рядов).

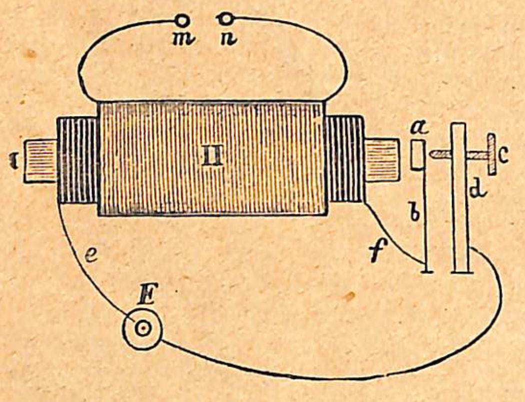


Рис. 377.

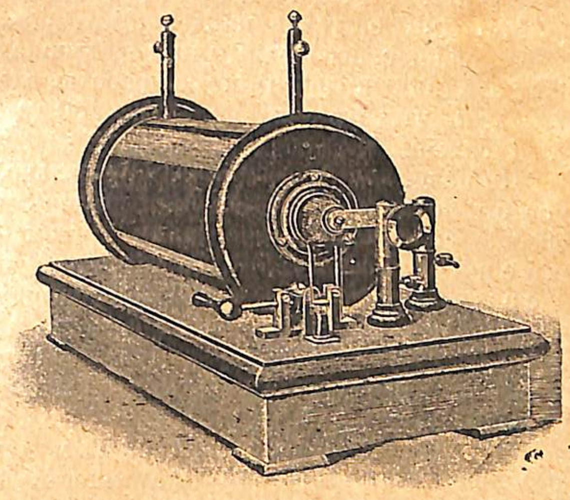
Одна из особенностей прибора — та, что очень быстрое замыкание и размыкание тока в первичной обмотке производится самим же током, посредством самодействующего (автоматического) прерывателя. В аппаратах меньших размеров он имеет устройство, сходное с прерывателем в обыкновенных электрических звонках (§ 337). В моменты замыкания и размыкания первичного тока во вторичной обмотке спирали (II) возникают индукционные токи, могущие дать ряд искр в перерыве m—n.

своевременно уведомлять о начинающихся пожарах; электрической искрой можно произвести взрыв мины, например, в горных работах, с большого вполне безопасного расстояния. Весьма любопытно применение электрического тока к устройству электрических часов, ход которых регулируется токами с центральной станции и таким образом вполне согласуется с ходом находящихся на станции точных часов. Небезуспешны и попытки сделать чрез посредство электрического тока видимым то, что происходит в отдаленной от нас местности... Нет никакой возможности останавливаться здесь на описании этих и подобных — большею частью весьма остроумных — приспособлений. Пусть интересующийся ими читатель обратится к другим книгам.

О беспроволочном телеграфировании будет сказано ниже, в главе двадцать девятой.

Внешний вид аппарата представлен на рис. 378.

Небольшие индукционные катушки при действии от нескольких элементов уже легко дают искру в 5—10 сантиметров, а наиболее крупные из ныне изготовляемых (при надлежащих источниках тока) разряжаются громадными искрами свыше $1^1/_2$ метров.


Рис. 378. Индукционная катушка.

Описанный аппарат находит много применений в тех случаях, когда нужна большая электрическая разность. В этом отношении действия индукционной катушки напоминают действия разряда электрической машины. Например, токи от индукционной спирали даже самых малых размеров производят трудно выносимые судорожные сокращения мышц. Индукционной катушкой часто пользуются при изучении электрических разрядов в разреженных газах (§ 374), а также для получения Рентгеновых лучей (§ 376).

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ВОСЬМАЯ.

Энергия, как общая количественная мера явлений.

I. Механическая, тепловая и лучистая энергия.

341. При физическом изучении явлений природы энергия служит общей их количественной мерой подобно деньгам в торговых оборотах. Теперь, когда мы познакомились с главными формами энергии, мы можем увидеть это из ряда примеров подсчета энергии. Для наглядности выразим количества энергии, затрачиваемой или развиваемой в разных случаях, величиной

груза (в килограммах и пудах), который мог бы быть поднят на известную высоту (1 метра или 1 сажени) затратою этой энергии. Числа везде возьмем средние, грубо приблизительные.

Начнем с механической энергии.

Многими опытами найдено, что рабочий, работая в среднем равномерно, с необходимыми передышками, совершает в течение часа 27.000 килограмметров работы, следовательно, в минуту 450 *кгм*, что отвечает поднятию 450 *кг* на 1 метр, или 14 пудов на 1 сажень [1]).

Не надо, конечно, понимать буквально, что рабочий прямо таки мог бы поднять 14 пудов на 1 сажень в минуту — только силач вообще справился бы с таким грузом, — а так, что его работа именно равна работе поднятия 14 пудов на 1 сажень, которую ведь рабочий совершал бы, поднимая и 7 пудов на 2 сажени, и $3^1/_2$ пуда на 4 сажени, и 1 пуд на 14 саженей — лишь бы произведение груза на высоту поднятия было одно и то же. Такое преобразование работы и достигается с помощью машин.

342. Переходим к тепловой энергии.

Человеческий организм при нормальных условиях развивает — это тоже результат многих опытов — около 2500 больших калорий тепловой энергии в течение суток (§ 180). Чтобы выразить тепловую энергию в единицах работы, надо это число умножить на 427 (§ 195), а для получения энергии, развиваемой в минуту, разделить произведение на $24 \times 60 = 1440$. Получим круглым счетом 740 килограмметров. Это соответствует работе поднятия 740 *кг* на 1 метр или 21 пуда на 1 сажень.

Паровой или иной двигатель, про который говорят, что его рабочая «мощность» равна 1 паровой лошади или «одной лошадиной силе» (небольшая машина, движущая в мастерской несколько токарных станков), совершает 75 килограмметров работы в секунду (§ 205) или 75×60 *кгм* = 4500 *кгм* в минуту, т.-е. может поднять в течение минуты 4500 кг на 1 метр. Это равно работе поднятия 130 пудов на 1 сажень [2]).

Автомобильный двигатель в 80 сил может развить в минуту энергию, равнозначную работе поднятия 360.000 кгр на 1 метр или 10.000 пудов на 1 сажень, а пассажирский 800-сильный паровоз — энергию, равнозначную работе поднятия 3.600.000 *кгр* на 1 метр или 100.000 пуд. на 1 сажень.

343. Обратимся еще к лучистой энергии.

Много раз определяли количество лучистой энергии, получаемой землею от солнца, для чего подвергали нагреванию солнеч-

[1]) 16,4 килограмма = 1 пуду; 2,13 метра = 1 сажени.
[2]) О рабочей мощности двигателей сил см. § 205.

ными лучами определенное количество воды с опущенным в нее термометром [1]). Значительная доля (не менее $^2/_5$) этой энергии задерживается атмосферой и, следовательно, не достигает непосредственно земной поверхности; о том, каков действительный приток солнечной энергии в верхних слоях атмосферы, — приходится судить лишь гадательно. Представим себе площадь в 1 кв. метр, помещенную так, что солнечные лучи падают на нее перпендикулярно. Опыты показали, что под Ленинградом в полуденное время на такую площадь в 1 минуту приходится в среднем количество теплоты, равное 15 большим калориям. Перечисляя число калорий на работу (1 б. кал. = 427 кгм), мы найдем, что солнечной энергией, падающей в 1 минуту на 1 кв. метр (опять таки, если бы можно было всю энергию без потери употребить на работу) может быть поднят груз в 6.400 кг на высоту 1 метра. Если взять 1 кв. саж. (1 кв. саж. = $4^1/_2$ кв. метр.), то получим 28.800 кг на 1 метр или 825 пудов на 1 сажень. Интересно сравнить этот приток энергии с тем, сколько ее доставляется в то же время (в минуту) паровой машиной мощностью в 1 паровую лошадь: приток энергии на 1 кв. саж. соответствует работе слишком 6 паровых лошадей [2]).

II. Электрическая энергия.

344. Для решения соответственных вопросов по отношению к энергии электрического тока нам надо познакомиться с тем, как производится учет этой энергии, и с главными единицами, с которыми тут приходится иметь дело. Ныне все чаще приходится слышать, что пользование электрической энергией оплачивается так-то и так, слышать об «амперах», «вольтах», «киловатт-часах» и пр. В практической жизни именно энергия электрического тока расценивается подобно товару, а оценка электрической энергии предполагает возможность ее измерения.

Мы уже не раз сравнивали электрический ток с текущей по трубе жидкостью. Теперь мы проведем это сравнение (аналогию) полнее. В двух сообщающихся сосудах жидкость остается в покое, пока уровни ее в сосудах одинаковы. Но если уровень в одном выше, чем в другом, то жидкость перетекает в сосуд с низшим уровнем, пока уровни не станут одинаковыми. Произ-

[1]) Об измерении количества теплоты калориями см. § 178.
[2]) Если бы те же солнечные лучи падали перпендикулярно на площадь в 1 десятину (2.400 кв. саж.), то приток энергии уже соответствовал бы работе 20 пассажирских паровозов.

вести в сосудах разность уровней можно не иначе, как затратив некоторую работу. Если, например, мы перельем черпаком часть воды из сосуда *A* в сосуд *B* (рис. 379), то повысим уровень воды в *B* и понизим в *A*; но для этого мы должны были поднять некоторое количество воды, т.-е. произвести работу против силы тяжести. Представим себе—что для нашей цели удобнее—между водоемами насос *C*, которым можно накачивать воду из *A* в *B*. Если, затратив работу, мы произведем насосом в водоемах разность уровней, то явится перевес давления со стороны жидкости с высшим уровнем: сама жидкость способна будет произвести работу. Открыв кран *D*, дадим воде перетекать из *B* в *A*: на своем пути она будет преодолевать те или иные сопротивления (например, вращая мельничное колесо), следовательно, совершать работу. Итак, благодаря разности уровней жидкость в этих условиях приобретает некоторую работоспособность, некоторую энергию, которой она дотоле не имела. Теперь пусть продолжающаяся работа насоса *C* поддерживает разность уровней в сосудах: произойдет непрерывное круговое течение воды, водяной ток, как показывают стрелки на рисунке.

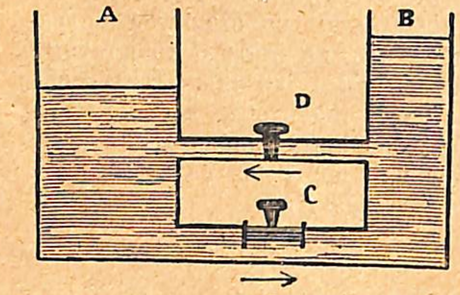


Рис. 379.

В случае электрического тока, доставляемого, например, простым гальваническим элементом (§ 312), разности уровней жидкости соответствует некоторая «электрическая разность» полюсов—то, что один полюс заряжен положительно, а другой отрицательно; эта разность тоже стремится к выравниванию чрез перемещение электрических зарядов, при котором мы условились (§ 312) принимать во внимание движение только положительного электричества (вне элемента от + к —). Работе же насоса соответствует в нашем приборе некоторая внутренняя работа, совершающаяся при химическом взаимодействии цинка и серной кислоты, работа, которая, кроме производства тока—когда проволоки элемента сомкнуты—вообще сказывается развитием теплоты. Таким образом, мы можем считать, что в замкнутом гальваническом элементе происходит как бы круговое течение электричества, подобное току жидкости по трубам между двумя сосудами, в которых разность уровней поддерживается непрерывной работой насоса.

345. Обратимся теперь к вопросу об *энергии электрического тока*, причем будем говорить об энергии в связи со временем—об энергии, доставленной в единицу времени, т.-е.

о *мощности тока*; в практике именно, главным образом, интересуются тем, сколько энергии может доставить источник электрического тока в течение данного времени: в час, минуту или секунду. Работа, которая может быть произведена током воды в данное время (см. тот же рис. 379), зависит от двух обстоятельств: 1) от количества проходящей в течение этого времени воды и 2) от ее давления или напора, т.-е. от разности уровней, поддерживающей течение [1]. Выше, вычисляя рабочую мощность водопада, мы умножали число килограммов воды, ниспадающей в секунду, на число метров падения, т.-е. на разность уровней, в пределах которой падает вода. Сходно с этим рабочая мощность электрического тока связана как с количеством электричества, протекающего по проводу в единицу времени, так и с величиною электрической разности на полюсах источника; она точно также находится чрез умножение числа единиц тока на число единиц электрической разности. Количество воды, протекающей по трубе или руслу в единицу времени, называют силою водяного тока, а давление или напор, обусловленные разностью уровней, можно было бы назвать, по понятной причине, «вододвижущей силой». Точно также количество электричества, протекающее по проводнику в единицу времени, в секунду, принято называть *силою тока* или просто «током», а электрическую разность — *электродвижущей силой*. (В случае электрического тока измеряемой величиной является именно электрическая разность полюсов; о «давлении» или «напоре» можно говорить лишь ради соблюдения аналогии в выражениях и наглядности.)

Итак, наш вопрос сводится к измерению *электрической разности* и *силы тока*. О величине электрической разности можно судить уже с помощью достаточно чувствительного (для данных условий) электроскопа; когда прибор приспособлен для *измерения*, он называется *электрометром*. О силе тока судят, например, по углу отклонения им магнитной стрелки (§ 312); назначаемый для этого прибор называется *гальваноскопом*, а если он приспособлен для измерения — *гальванометром*. В описание устройства электрометров и гальванометров, довольно разнообразного, мы входить не можем.

346. От каких обстоятельств зависит сила водяного тока (во взятом выше смысле)? Очевидно: 1) от напора или давления воды, 2) от тех препятствий или сопротивлений, которые текущая

[1] Сходным образом быстрота работы, совершаемой поршнем паровой машины, зависит как от количества пара, притекающего в единицу времени, так и его давления.

жидкость встречает на своем пути. Чем больше напор, тем сильнее — в принятом нами смысле — будет водяной ток; напротив, чем больше сопротивление в трубах, тем водяной ток при данном напоре будет слабее. Величина напора находится в прямом отношении к разности уровней жидкости в обоих сосудах или бассейнах, а сопротивление (трение), испытываемое ею в трубах, зависит, например, от ширины и длины пути. В полной аналогии с этим сила электрического тока в цепи зависит: 1) от величины электрической разности полюсов, 2) от размеров и свойств проводников, из которых составлена цепь — считая и те, которые входят в состав доставляющего ток прибора (как, например, жидкости и твердые проводники внутри гальванического элемента).

Что электрический ток встречает в проводниках нечто соответствующее сопротивлению, которое испытывает текущая по трубе жидкость, видно из следующего. Составим цепь из гальванического элемента, гальваноскопа и каких-нибудь проводников (проволок). Заметим показание стрелки гальваноскопа. После этого включим в цепь более длинную проволоку из того же материала и той же толщины: мы увидим, что угол отклонения стрелки уменьшится; следовательно, ток стал слабее. То же произойдет, если включенную в цепь проволоку заменить другою, более тонкою (той же длины). Напротив, уменьшение длины проволоки или увеличение ее толщины произведет усиление тока. Опыт показывает, что ток более или менее ослабляется всяким проводником, потому что во всяком проводнике энергия тока частью расходуется на производство теплоты (§ 318). Дело происходит так, как будто ток испытывал в проводнике какое-то «сопротивление», нечто вроде внутреннего трения.

Электрическое сопротивление зависит не только от размеров (длины и толщины) проводников, но и от их материала. Мы уже видели, каким образом устанавливается в общих чертах различие между хорошими и дурными проводниками электричества. Но способность тел проводить электричество, или, как говорят еще, их электропроводность, представляет множество степеней. Об электропроводности обыкновенно и судят, измеряя электрическое сопротивление проводников, потому что, чем больше сопротивление, тем, значит, меньше проводимость—и наоборот. Конечно, сравнивая сопротивление проводников из разного материала, предполагают размеры проводников одинаковыми, например в случае металлов сравнивают сопротивление проволок одинаковой длины и толщины.

Можно сказать вообще, что металлы представляют току сопротивление во много раз меньшее, чем так называемые дурные проводники. Из металлов наименьшее сопротивление свойственно серебру и красной меди. Сопротивление латуни или желтой меди (сплав меди с цинком) раз в 5 больше, железа в 6 — 10 раз, платины в 9, а ртути в 60 раз. Из тел неметаллических кокс (ретортный уголь), считающийся сравнительно хорошим проводником, представляет сопротивление примерно в 3000 раз большее, чем серебро и медь. Жидкости (кроме ртути) оказывают вообще очень большое сопротивление току; например, 30% водный раствор серной кислоты — сравнительно хорошо проводящая жидкость — представляет сопротивление, почти в миллион раз большее, чем серебро. Сопротивление химически-чистой воды еще гораздо больше этого. Что же касается стекла, гуттаперчи и других худых проводников или изоляторов, то сопротивление их выражается, по сравнению с металлами, огромными числами.

Вот несколько примеров, поясняющих, какое значение может иметь то или иное сопротивление вводимых в цепь тел. Положим, что в цепи из гальванического элемента, гальваноскопа и проводников мы заменяем часть медной проволоки платиновою той же толщины: чтобы стрелка гальваноскопа осталась на том же делении, как прежде, нужно будет взять платиновую проволоку в 9 раз короче медной, которую она заменила, потому что сопротивление платины в 9 раз больше, нежели меди. Столбик ртути (заключенный, конечно, в стеклянную трубочку) пришлось бы взять короче в 60 раз. Если же мы хотим сохранить в цепи прежнюю силу тока, не изменяя длины проводников, то должны надлежащим образом увеличить толщину платиновой проволоки и ртутного столбика, именно увеличить в 9 и в 60 раз площадь их поперечного разреза.

Количество теплоты, развиваемое в проводниках током в течение данного времени, больше всего в тех частях цепи, сопротивление которых наибольшее; накаливаются по преимуществу тонкие проволоки, особенно если они состоят из материала с значительным сопротивлением.

Главные единицы, с которыми приходится иметь дело при измерении энергии электрического тока, названы по фамилиям нескольких выдающихся ученых. Вот эти фамилии: Ампер (франц.), Вольта (итал.), Ом (нем.), Ватт или Уатт (англ., знаменитый изобретатель паровой машины).

Общепринятая ныне единица силы тока или, короче, единица тока называется ампером. Приборы, дающие ток прямо выраженным в амперах, называются амперметрами и постоянно употребляются в практических применениях электрического тока.

347. Обратимся опять к сопоставлению электрического тока с круговым током жидкости (рис. 377), о силе которого мы судим

жидкость встречает на своем пути. Чем больше напор, тем сильнее — в принятом нами смысле — будет водяной ток; напротив, чем больше сопротивление в трубах, тем водяной ток при данном напоре будет слабее. Величина напора находится в прямом отношении к разности уровней жидкости в обоих сосудах или бассейнах, а сопротивление (трение), испытываемое ею в трубах, зависит, например, от ширины и длины пути. В полной аналогии с этим сила электрического тока в цепи зависит: 1) от величины электрической разности полюсов, 2) от размеров и свойств проводников, из которых составлена цепь — считая и те, которые входят в состав доставляющего ток прибора (как, например, жидкости и твердые проводники внутри гальванического элемента).

Что электрический ток встречает в проводниках нечто соответствующее сопротивлению, которое испытывает текущая по трубе жидкость, видно из следующего. Составим цепь из гальванического элемента, гальваноскопа и каких-нибудь проводников (проволок). Заметим показание стрелки гальваноскопа. После этого включим в цепь более длинную проволоку из того же материала и той же толщины: мы увидим, что угол отклонения стрелки уменьшится; следовательно, ток стал слабее. То же произойдет, если включенную в цепь проволоку заменить другою, более тонкою (той же длины). Напротив, уменьшение длины проволоки или увеличение ее толщины произведет усиление тока. Опыт показывает, что ток более или менее ослабляется всяким проводником, потому что во всяком проводнике энергия тока частью расходуется на производство теплоты (§ 318). Дело происходит так, как будто ток испытывал в проводнике какое-то «сопротивление», нечто вроде внутреннего трения.

Электрическое сопротивление зависит не только от размеров (длины и толщины) проводников, но и от их материала. Мы уже видели, каким образом устанавливается в общих чертах различие между хорошими и дурными проводниками электричества. Но способность тел проводить электричество, или, как говорят еще, их электропроводность, представляет множество степеней. Об электропроводности обыкновенно и судят, измеряя электрическое сопротивление проводников, потому что, чем больше сопротивление, тем, значит, меньше проводимость—и наоборот. Конечно, сравнивая сопротивление проводников из разного материала, предполагают размеры проводников одинаковыми, например в случае металлов сравнивают сопротивление проволок одинаковой длины и толщины.

Можно сказать вообще, что металлы представляют току сопротивление во много раз меньшее, чем так называемые дурные проводники. Из металлов наименьшее сопротивление свойственно серебру и красной меди. Сопротивление латуни или желтой меди (сплав меди с цинком) раз в 5 больше, железа в 6 — 10 раз, платины в 9, а ртути в 60 раз. Из тел неметаллических кокс (ретортный уголь), считающийся сравнительно хорошим проводником, представляет сопротивление примерно в 3000 раз большее, чем серебро и медь. Жидкости (кроме ртути) оказывают вообще очень большое сопротивление току; например, 30% водный раствор серной кислоты — сравнительно хорошо проводящая жидкость — представляет сопротивление, почти в миллион раз большее, чем серебро. Сопротивление химически-чистой воды еще гораздо больше этого. Что же касается стекла, гуттаперчи и других худых проводников или изоляторов, то сопротивление их выражается, по сравнению с металлами, огромными числами.

Вот несколько примеров, поясняющих, какое значение может иметь то или иное сопротивление вводимых в цепь тел. Положим, что в цепи из гальванического элемента, гальваноскопа и проводников мы заменяем часть медной проволоки платиновою той же толщины: чтобы стрелка гальваноскопа осталась на том же делении, как прежде, нужно будет взять платиновую проволоку в 9 раз короче медной, которую она заменила, потому что сопротивление платины в 9 раз больше, нежели меди. Столбик ртути (заключенный, конечно, в стеклянную трубочку) пришлось бы взять короче в 60 раз. Если же мы хотим сохранить в цепи прежнюю силу тока, не изменяя длины проводников, то должны надлежащим образом увеличить толщину платиновой проволоки и ртутного столбика, именно увеличить в 9 и в 60 раз площадь их поперечного разреза.

Количество теплоты, развиваемое в проводниках током в течение данного времени, больше всего в тех частях цепи, сопротивление которых наибольшее; накаливаются по преимуществу тонкие проволоки, особенно если они состоят из материала с значительным сопротивлением.

Главные единицы, с которыми приходится иметь дело при измерении энергии электрического тока, названы по фамилиям нескольких выдающихся ученых. Вот эти фамилии: Ампер (франц.), Вольта (итал.), Ом (нем.), Ватт или Уатт (англ., знаменитый изобретатель паровой машины).

Общепринятая ныне единица силы тока или, короче, единица тока называется ампером. Приборы, дающие ток прямо выраженным в амперах, называются амперметрами и постоянно употребляются в практических применениях электрического тока.

347. Обратимся опять к сопоставлению электрического тока с круговым током жидкости (рис. 377), о силе которого мы судим

по количеству жидкости, протекающей через трубу в единицу времени. Приняв силу некоторого водяного тока за единицу, мы тем самым уже устанавливаем, какое количество воды при этом токе протекает в каждую единицу времени. Придерживаясь нашего сравнения, можно сказать, что и при электрическом токе в 1 ампер чрез поперечное сечение проводника проходит в секунду некоторое определенное количество электричества. При том же самом токе в минуту протечет электричества в 60 раз больше, а в час — в 3600 раз. Отсюда на практике количество переносимого током электричества обыкновенно выражается ампер-часами. Например, 100 ампер-часов обозначают количество электричества, которое протекает по проводникам при токе в 1 ампер в 100 часов; такое же количество электричества, конечно, пройдет при 2 амп. в 50 час., при 4 амп. в 25 час., при 100 амп. в 1 час, при 200 амп. в $^1/_2$ часа и т. д.

Сила тока в цепи, как мы видели, зависит от величины электрической разности или электродвижущей силы, поддерживающей ток, и от совокупности сопротивлений, которые представляются току на его пути. Единица электрической разности есть вольт, а единица электрического сопротивления — ом. Изготовляют проволоки определенных размеров из меди и других металлов, служащие образцами сопротивлений в 1 и более омов, до многих тысяч. Наборы подобных сопротивлений, устроенные так, что их можно быстро и удобно включать в цепь, называются реостатами. Равным образом устраиваются гальванические элементы, долго сохраняющие очень постоянную электрическую разность полюсов; такие «нормальные» элементы могут служить как бы практическими образцами определенной электрической разности. Приборы, прямо показывающие электрическую разность в вольтах, называются вольтметрами.

Как уже упоминалось выше, сопротивление проволок зависит от их длины, толщины и материала. Например, сопротивление 1 метра медной проволоки диаметр. 1,5 *мм* очень близко к 0,01 ома. Следовательно, 100 *м* проволоки представляют сопротивление в 1 ом. Таково же приблизительно сопротивление 80 метров железной телеграфной проволоки диаметр. 4 *мм*. Тонкая железная проволока диаметр. 0,2 *мм* представляла бы сопротивление в 1 ом уже при длине всего около $^1/_5$ метра. Сопротивление тонкой угольной нити калильной электрической лампочки с силою света в 16 свечей, в накаленном состоянии, около 200 омов (в холодном состоянии сопротивление нити значительно больше).

Сопротивление человеческого тела, довольно различное, вообще составляет несколько тысяч и может достигать десятка тысяч омов: таково примерно сопротивление 800 *км* телеграфной проволоки.

Названные выше единицы тока, электрической разности и сопротивления выбраны так, что если в цепи проходит ток в 1 ампер при электрической разности в 1 вольт, то сопротивление цепи равно 1 ому. Но выше было сказано о зависимости силы тока от электрической разности и сопротивления. Сила тока в цепи прямо пропорциональна электрической разности и обратно пропорциональна сопротивлению всей цепи (закон Ома). Положим, что электрическая разность составляет 100 вольтов, а общее сопротивление равно 20 омам; сколькими амперами выразится ток? При электрической разности в 1 вольт и сопротивлении в 1 ом ток был бы (на основании сказанного выше о соотношении единиц) равен 1 амперу. Если электрическая разность при том же сопротивлении (1 ом) увеличится до 100 вольтов, то ток усилится в 100 раз, т.-е. будет равен 100 амперам. Если же, сохранив электрическую разность в 100 вольтов, мы увеличим сопротивление с 1 до 20 омов, то сила тока уменьшится в 20 раз, т.-е. будет равняться $\frac{100}{20} = 5$ амперам. Из этого примера легко видеть, что ток в амперах прямо находится чрез деление электрической разности в вольтах на сопротивление в омах, или короче:

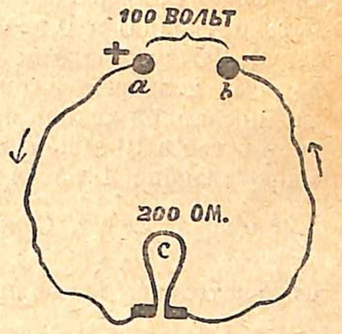


Рис. 380.

$$\text{число ампер} = \frac{\text{число вольтов}}{\text{число омов}} \quad (1).$$

Отсюда, конечно, прямо следует, что

$$\text{число вольтов} = \text{числу амперов} \times \text{число омов} \quad (2);$$

и

$$\text{число омов} = \frac{\text{число вольтов}}{\text{число амперов}} \quad (3).$$

348. Вот несколько простых примеров на применение этой зависимости.

1) Калильную электрическую лампочку включают в цепь (рис. 380), соединяя концы ее угольной нити (*c*) помощью проволок (проводного шнура) с двумя проводами (*a* и *b*), идущими от электрической станции. Если электрическая разность точек *a* и *b* равна 100 вольтам, а сопротивление угольной нити 200 омов, то сила тока в последней $= \frac{100}{200} = {}^1/_2$ ампера. Если же вместо

лампочки включить в цепь тело человека, сопротивление которого, положим, 10.000 омов, то сила тока будет лишь $^1/_{100}$ ампера.

2) Действие длящегося тока в 0,1 ампер на человеческий организм уже может быть опасным для жизни. Какой величины не должна превышать электрическая разность источника (в вольтах), чтобы чрез включенное в цепь человеческое тело проходил ток не сильнее 0,1 ампера, если сопротивление тела принять за 5.000 омов? Ответ. $5.000 \times 0{,}1 = 500$ вольтов [1].

3) Между точками a и b (рис. 380), электрическая разность которых поддерживается = 100 вольтам, включают большой моток изолированной медной проволоки толщиною 1,5 *мм*, при чем наблюдается ток в 10 амперов. Сколько метров проволоки в мотке, если сопротивление 1 метра медной проволоки диам. в 1,5 *мм* равно 0,01 ома? Ответ. Сопротивление всего мотка $= \frac{100}{10} = 10$ омам; следовательно, длина проволоки $\frac{10}{0{,}01}$, или 1000 метров.

При решении подобных вопросов предполагается, что можно пренебрегать сопротивлением тех (обыкновенно достаточно толстых медных) проволок, которые служат для соединения включаемого в цепь предмета с источником тока.

Ток может быть силен и при малой электрической разности, если сопротивление цепи ничтожно [2].

349. В тех случаях, особенно важных для практики, когда энергия тока расходуется на тепловые, механические и другие действия, эти последние будут тем значительнее, чем больше электрической энергии преобразовывается в единицу времени, т.-е. чем больше рабочая мощность тока. Из того, что сказано нами выше (§ 347), следует, что рабочая мощность тока — связанная как с силою тока, так и с электрической разностью — находится чрез умножение числа амперов на число вольтов. За единицу электрической мощности принимается мощность тока в 1 ампер при электрической разности в 1 вольт;

[1]) Если ток проходит чрез область сердца, то деятельность последнего может быть нарушена и даже прекращена при 0,05 амперах. Поэтому в исключительных случаях, когда сопротивление тела около 100 омов, а поверхность кожи хорошо смочена, может уже оказаться опасною электрическая разность в 50 вольтов.

[2]) Сопротивление металлических проводников возрастает с повышением их температуры. Поэтому при нагревании включенной в цепь проволоки сила тока в цепи будет уменьшаться, а при охлаждении увеличиваться. Отсюда является возможность по силе тока судить о температуре включенной проволоки. Усовершенствование этого приема позволило итти в определении малых температурных разниц так далеко, что от внимания исследователя не ускользают и миллионные доли градуса.

эта единица мощности называется вольт-ампером или ваттом (уаттом). Как уже упоминалось выше (§ 205), ватт соответствует ежесекундной работе немного более 0,1 килограмметра. Киловатт = = 1000 ваттам и равнозначен работе в 100 с небольшим килограмметров в секунду, т.-е. приблизительно $\frac{100}{75} = 1^1/_3$ паровым лошадям.

После этого будет понятно, что в практике расход электрической энергии оценивается по числу киловаттов в час, или по числу киловатт-часов. В самом деле «киловатт-час» означает некоторое совершенно определенное количество энергии, которое в 3.600.000 раз больше энергии, соответствующей 1 ватту в секунду. Киловатт-час — это приблизительно такое же количество энергии или работы, какое доставляется в течение часа двигателем мощностью в $1^1/_3$ паровой лошади.

350. Для примера выразим в ваттах и паровых лошадях быстроту расходования энергии тока, накаливающего 16-свечную угольную лампочку при силе тока в $^1/_2$ ампера и электрической разности в 100 вольтов. Произведение числа вольтов на число амперов дает $100 \times 0{,}5 = 50$ вольт-амперов или ваттов, что соответствует $50.0{,}1 = 5$ килограмметр. в сек., т.-е. $^5/_{75} = {^1/_{15}}$ паровых лошади. Итак, 15 таких лампочек поглощают при полном накаливании энергию, отвечающую мощности одной паровой лошади. Другими словами, если бы всю теплоту, выделяющуюся в этих 15 лампочках, можно было преобразовать в механическую работу, то в каждую секунду мы получили бы такое же количество работы, какое в то же время доставляется двигателем в одну паровую лошадь [1].

Калильная электрическая лампа с угольной нитью, 16-свечная, как мы только что видели, поглощает 5 *кгм* энергии в секунду, следовательно, 300 *кгм* в минуту. Отсюда находим, что 16-свечевая электрическая лампа с угольной нитью потребляет в минуту энергию, равную работе поднятия 300 *кг* на 1 метр или почти 9 пудов на 1 сажень. Лампы с металлической нитью, по преимуществу употребляемые в настоящее время, расходуют на то же число свечей в 3 — 6 раз меньше энергии.

Вольтова дуга уличного электрического фонаря в 1000 свечей расходует около 12 амперов, при 40 вольтах, т.-е. округленно 500 вольт-амперов, что отвечает 50 *кгм* в секунду, или 50×60 *кгм* в минуту. Это соответствует работе поднятия 3000 кг на 1 метр или 90 пудов на 1 сажень. Вольтова дуга мощной электрической печи (1000 амп. при 110 вольтах) берет около 150 паровых лоша-

[1]) Для питания сотни таких ламп нужен расход в 6 — 7 пар лошадей. Более новые лампы с металлической нитью при силе света в $1^1/_2$ тысячи свечей расходуют всего лишь 750 ваттов, что соответствует 75 кгм в секунду, или 1 паровой лошади. Отсюда видно, во сколько раз они экономнее угольных.

дей (660.000 *кгм* в минуту). Это равнозначно поднятию 660.000 *кг* на 6 метр или 2000 пудов на саж. (округленно).

Наконец, грубо приблизительная оценка полной энергии одного удара молнии обыкновенной длины (около 1 версты), развиваемой в то ничтожное время, в течение которого длится молния, показывает, что она равнозначна поднятию $1^1/_2$ милл. пудов на 50 саж.

III. Обзор и добавления.

351. Количество электричества, протекающее по проводнику в 1 секунду, измеряет силу тока. Общепринятая единица силы тока — ампер.

Электрический ток обусловливается наличием электродвижущей силы, измеряемой в вольтах.

Проводники, по которым течет электрический ток, представляют для него известное сопротивление. Последнее зависит от длины проводника, от его толщины, от качества материала и от температуры проводника. Измеряется оно омами.

Сила тока в цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению всей цепи.

Мощность электрического тока находится через умножение числа амперов на число вольтов и измеряется в ваттах. Ватт соответствует ежесекундной работе немного более 0,1 килограммметра. 1000 ваттов составляют киловатт, равнозначный $1^1/_3$ лошадиным силам.

352. Сведем в табличку все числа, полученные для разных видов энергии в настоящей главе.

Энергией, которая в 1 минуту:

	Можно было бы поднять на 1 *см*.
расходуется 16-св. калильной лампой с уг. нитью	9 пуд.
развивается рабочим при нормальных условиях	13 «
развивается в виде теплоты здоров. человеческ. организмом	20 «
развивается пламенем стеар. свечи	20 «
расходуется вольт. дугой уличн. эл. фонаря (1000 св.)	90 «
развивается двигателем мощн. в 1 пар. лошадь	130 «
доставляется на площ. в 1 $см^2$ м перпендикулярными к ней солн. лучами в Ленинграде около полудня	825 «
развивается трамвайным или автомобильным 80-сильным двигателем	10000 «
расходуется вольт. дугою мощной эл. печи	20000 «
расходуется паровозом в 800 сил	100000 «

Отсюда можно сделать много любопытных выводов, как показывают следующие примеры. 1) Количество теплоты, развиваемой в одинаковое время нашим организмом и четвериковой стеариновой свечою, одно и то же; оно слишком вдвое больше энергии, расходуемой (в то же самое время) 16-свечной угольной лампой. 2) Энергии, развиваемой 80-сильным двигателем, хватило бы, если бы не было потерь, на 1100 слишком 16-свечных угольных ламп. 3) Мощность рабочего составляет в среднем $^1/_{10}$ паровой лошади. 4) Энергией солнечных лучей, воспринимаемых перпендикулярно площадью в 1 кв. с. под Ленинградом в полуденное время, можно было бы питать слишком 90 угольных 16-свечных ламп, а если бы можно было использовать всю солнечную энергию, падающую при тех же условиях на 12 кв. саж., для движения машины, то мощность этой машины соответствовала бы 80-сильному двигателю. 5) Вольтова дуга в 1000 свечей расходует энергии только в $4^1/_2$ раза больше, чем пламя стеариновой свечи; отсюда видно, как сравнительно неэкономно освещение пламенем свечи; только ничтожная часть всей энергии идет собственно на «световое» излучение, а остальная тратится на теплоту и теряется[1]). (Попробуйте сами сделать еще некоторые сопоставления.) Из этого сравнения, однако, не следует, что превращения названных видов энергии один в другой действительно можно осуществить в тех количественных соотношениях, которые здесь даны: на деле именно нельзя избежать потерь (т.-е. бесполезных трат) энергии, из которых некоторые неустранимы никакими предосторожностями. Это похоже, если угодно, вот на что. Если вы заплатили по 10 руб. за две вещи, то вы назовете их в денежном отношении равноценными. Но это не значит, что, продав потом одну, вы на вырученные деньги в состоянии будете непременно купить другую — предполагая даже, что цена вещей на рынке остается постоянной. И все же оценка вещей денежными единицами неизбежна в практике товарообмена. Нечто сходное дает и оценка количественной стороны разнородных явлений, тоже как бы обменивающихся

[1]) В вольтовой дуге, хотя и гораздо более экономной, вследствие ее чрезвычайно высокой температуры, на долю «света» приходится все же только около $^1/_{10}$ всей расходуемой ею тепловой энергии. Столь ли выгодными для целей освещения были бы «холодные» источники света (§ 226), если бы были найдены удобные способы получать их достаточно сильными. Светляк доставляет в несколько сот раз меньше теплоты, чем раскаленный источник света той же силы. По некоторым опытам выходит, что если бы вся теплота, развивающаяся при горении свечи, превращалась в «световую» энергию, то для получения света, какой дает свеча (4 на фунт), ее хватило бы на десяток лет.

одно на другое, единицами энергии или работы. Добавочные соображения, о которых мы здесь говорить не можем, позволяют в отдельных случаях судить и о величине неизбежных потерь.

ГЛАВА ДВАДЦАТЬ ДЕВЯТАЯ.

Расширение области невидимого: «электромагнитные волны» и «электрические лучи».

1. Происхождение и свойства электромагнитных волн.

353. Кто в наше время не слышал о беспроволочном телеграфе и не дивился этому чуду из чудес? Сравнительно с ним «обыкновенный» телеграф кажется уже чем-то простым и понятным. Но, конечно, потому, что это — более давнее открытие и еще потому, что к передаче механических действий с помощью проволоки мы привыкли: сколько раз мы, например, дергали за рукоятку простого дворового звонка! У физика, стремящегося проникать в глубь явлений, много вопросов возбуждает и телеграфирование по проволокам, скажем больше — даже передача механической энергии по материалу проволоки стародавнего звонка... Попробуем здесь, прибегая опять к неизбежным сравнениям из других областей (аналогиям), составить себе некоторое понятие о том, как именно производится беспроволочное телеграфирование. Почвою для этого замечательного открытия послужила мысль, что в той же самой мировой среде, по которой передаются световые, и инфракрасные и ультрафиолетовые «лучи», могут волнообразно распространяться и колебания, вызываемые в нем *электрическими разрядами*. О происхождении и свойствах этих *электромагнитных волн* мы, однако, можем сказать лишь очень немногое.

Разряд лейденской банки, электрофорной машины или индукционной катушки явление в действительности гораздо более сложное, чем оно представляется при первом наблюдении. Оказалось, что выравнивание электрической разности надо представлять себе происходящим не в один прием, а как последовательный ряд переходов электричества вперед и обратно, с одного проводника на другой — как ряд следующих друг за другом быстро ослабевающих разрядов или токов противоположных направлений. Таким образом, все явление разряда имеет колеба-

тельный характер; оно напоминает собою как бы постепенную остановку маятника, отведенного в сторону и затем предоставленного самому себе; сходным образом, путем ряда все ослабевающих колебаний в обе стороны, успокаивается жидкость в двух сообщающихся трубках (рис. 381), если уровень ее был в одной выше, чем в другой. *Электрические колебания* вызывают соответствующие движения в окружающем пространстве, которые передаются в нем волнообразно со скоростью света, т.-е. на расстоянии 300.000 километров в секунду.

От волн, производящих в нас световое впечатление, электромагнитные волны, порождаемые электрическими разрядами, отличаются только тем, что соответствующие им колебания, хотя и чрезвычайно быстрые, совершаются все же значительно медленнее [1]). Распространение электромагнитных волн образует то, что нередко называют электрическими лучами. Доказано, что в отношении способности отражаться, преломляться, поглощаться телами и пр. эти лучи не отличаются чем-либо существенным от тех, с которыми мы уже знакомы из предыдущего; все наблюдаемые различия связаны только с различием в повторяемости или частоте колебаний (числе их в секунду).

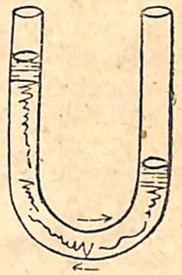


Рис. 381.

Поглощение электрических волн проводниками вызывает соответствующие колебательные движения электронов, входящих в состав атомов, следствием чего в этих проводниках являются электрические токи или электрические разряды; последние при известных условиях могут стать достаточно сильными, чтобы проявиться, например, электрическими искрами в перерывах частей проводника или же другими видимыми электрическими действиями. В этом отношении наблюдается нечто очень сходное со звуковой отзывчивостью или резонансом (§ 214). Изменяя размеры и форму проводника, можно достичь того, что он будет электрически «отзываться» на электрические колебания той или иной повторяемости. Такие «электрические резонаторы» и могут служить для обнаружения электрических волн, заменяя собою ухо по отношению к звуковым волнам и глаз — по отношению к световым.

Отсюда уже недалеко до попыток устроить приспособления, которые отмечали бы попадающие на них электрические волны какими-либо остающимися условными знаками. Такова именно сущность беспроводного телеграфирования.

[1]) Электромагнитные волны называют и просто электрическими; но первое выражение предпочтительнее, потому что оно напоминает и о магнитных действиях, неразрывно связанных с электрическими разрядами.

354. На рис. 382 изображен в простейшем виде прибор, служащий для возбуждения волн и (справа) для их обнаружения. Электрические токи, доставляемые стоящим снизу аппаратом (так называемого индукционною или Румкорфовой катушкою) направляются в приспособление AB, называемое вибратором (т.-е. колебателем). Как видно из рисунка, вибратор состоит из двух квадратных металлических пластинок A и B, прикрепленных к двум металлическим стержням, которые оканчиваются тщательно отполированными металлическими шариками; в промежутке между ними и проскакивает искра. Каждая такая искра состоит в действительности из целого ряда колебаний. Но колебания эти быстро ослабевают (затухают) до полного исчезновения, так что весь ряд их является для нашего глаза одной моментальной искрой. Положим, что произошло подряд двадцать колебаний, и что каждое из них длится одну стомиллионную долю секунды: тогда весь ряд колебаний займет всего лишь одну пятимиллионную секунды. Повторяемость колебаний, т.-е. число их, которое пришлось бы на целую секунду, зависит от формы и размеров вибратора: изменяя то и другое, можно в известных границах изменить повторяемость, которая в каждом отдельном случае может быть найдена вычислением.

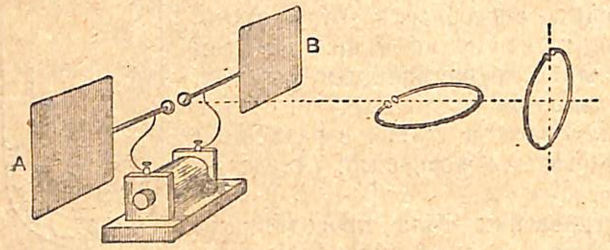


Рис. 382.

Чтобы обнаружить невидимые волны, посылаемые вибратором в окружающее пространство, можно взять свернутую в кольцо металлическую проволоку, оканчивающуюся двумя очень близко отстоящими друг от друга шариками (рис. 382, справа). Если держать кольцо на некотором расстоянии от вибратора, приведенного в действие, то в моменты разрядов можно заметить искорки в промежутке между шариками кольца. Эти искорки будут сильнее или слабее, смотря по обстоятельствам; при несоблюдении известных условий они могут и совсем не появиться. Во-первых, кольцо надо держать в таком положении, чтобы исходящие от вибратора колебания могли возбуждать в нем токи: опыт именно показывает, что это происходит не при всяком положении кольца — конечно, в зависимости от направления колебаний в вибраторе (которые в нашем случае происходят горизонтально). Наиболее выгодные положения кольца представлены на рисунке.

Во-вторых, большое значение имеют размеры кольца. Дело в том, что разряды в кольце тоже имеют колебательный характер, и размерами кольца определяется повторяемость тех электрических колебаний, которые произошли бы в нем самом, если бы его

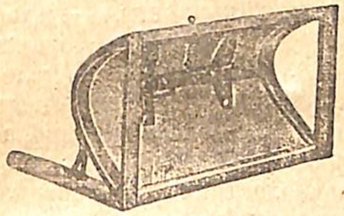


Рис. 383.

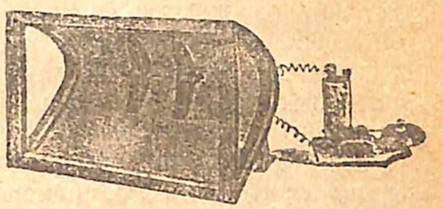


Рис. 384.

заряжать подобно тому, как заряжается самый вибратор. Если величину кольца выбрать так, чтобы повторяемость его собственных электрических колебаний совпадала с повторяемостью волн, посылаемых вибратором, то возбуждаемые в кольце электрические колебания усиливаются, и можно получить в его перерыве более заметную искру.

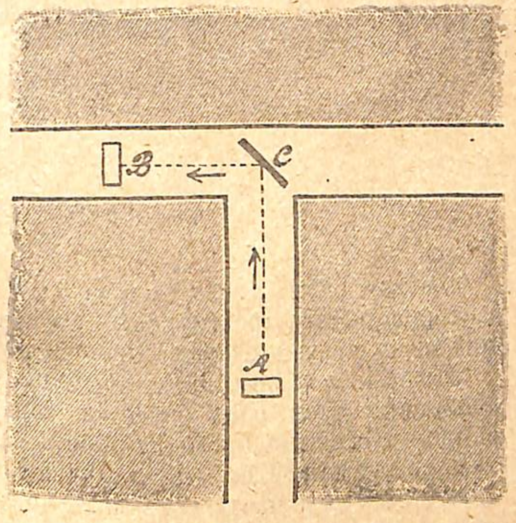


Рис. 385.

355. Как вибратор, так и резонатор или приемник описаны здесь в их первоначальной форме, но им дается довольно разнообразное устройство. Кроме того, чтобы иметь возможность направлять по желанию ход электрических волн, вибратор помещают в фокусной линии металлического вогнутого зеркала, от которого они, отразившись, идут по приблизительно параллельным направлениям — подобно световому пучку в соответствующем случае: как и там, зеркалу придается особая форма (§ 338). Такое зеркало изображено на рисунке 383. Улавливаются же волны помощью другого подобного же зеркала, в фокусной линии которого помещен приемник;

возбуждаемые в последнем электрические токи могут быть обнаруживаемы или гальваноскопом, или электрическим звонком (как именно представлено на рис. 384 справа).

После этих кратких сведений об устройстве приборов опишем несколько опытов. Что электрические волны могут отражаться и что они отражаются по тем же законам, как и свет, — видно из способа применения к ним вогнутых металлических зеркал, о котором только что упомянуто. Рис. 385 показывает расположение опыта, весьма наглядно обнаруживающего отражение волн от плоского металлического щита (*C*). В *A* предполагается вибратор, в *B* — приемник, который дает знать о падающих на него электрических волнах, например, помощью электрического звонка: стоит лишь убрать щит *C*, и приемник перестает отзываться на колебания вибратора.

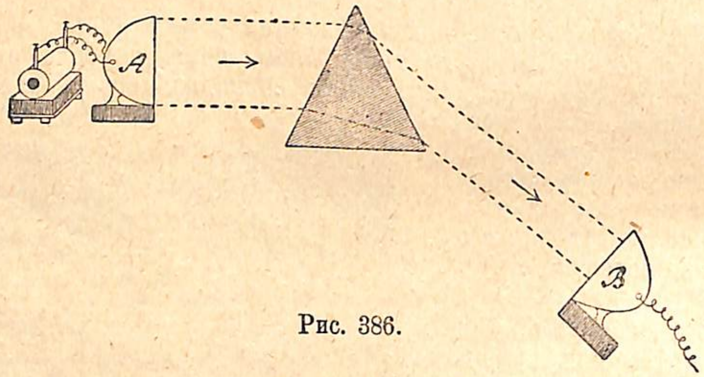


Рис. 386.

Преломление электрических лучей хорошо наблюдается помощью трехгранной призмы из смолы или параффина, как легко понять из рис. 386 без дальнейших объяснений.

Подобно световым, электрические лучи более или менее свободно проникают чрез одни тела и задерживаются другими. Они, например, хорошо проходят сквозь деревянную дверь или каменную стену; напротив, металлический экран почти сполна задерживает их ход, частью отражая, частью поглощая, так что позади экрана образуется как бы «теневое» пространство.

II. Длина электромагнитных волн.

356. «Длиною волны» в учении о колебаниях вообще называют расстояние, на которое успевает распространиться волнообразное движение в то время, как колеблющаяся частица совер-

шила одно полное колебание, т.-е. вперед и обратно (§ 218). В случае волн на поверхности воды или волн, бегущих по колеблемой за конец веревке (рис. 387), длиною волны, говоря иначе, будет расстояние, на котором умещаются следующие друг за другом вал и впадина (на рис. 388 расстояние *ae*), а в случае звуковых — длина взятых вместе уплотненной и разреженной частей волны. Понятно, что звуковые волны в данной среде

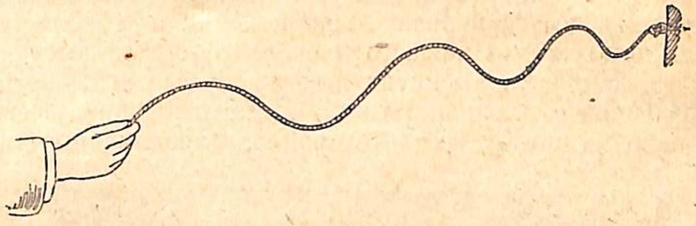


Рис. 387.

будут тем короче, чем чаще колебания следуют друг за другом, т.-е. чем тон выше. Чтобы вычислить длину воздушной волны, соответствующей тону заданной высоты, надо лишь знать число колебаний в секунду и скорость звука в воздухе, которая равна 330 м в сек. Возьмем, например, тон для нормального камертона, делающего 435 полных колебаний в секунду. Каждое колебание ветви камертона посылает одну воздушную волну. (На рис. 389

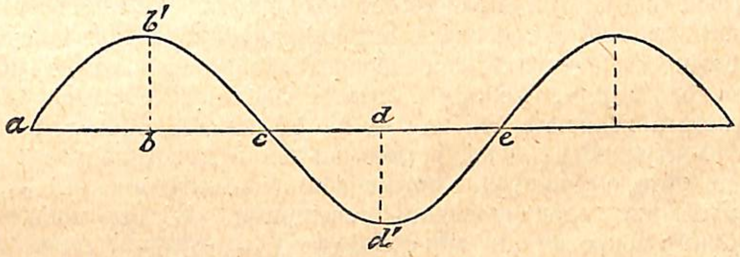


Рис. 388.

изображен штриховкою ряд волн, взятых в одном определенном направлении.) Когда камертон закончит свое 435 колебание, первое уже успеет распространиться на расстояние, которое звуковые волны пробегают в одну секунду, т.-е. на 330 метров. Следовательно, на протяжении 330 *м* уложатся 435 волн, и каждая волна займет длину $=\frac{330}{435}$ метра, или около $^3/_4$ *м*, что немного больше аршина. Итак, для определения длины (l) звуковой

волны в данной среде стоит лишь скорость звука (v) в этой среде разделить на число (n) колебаний в 1 сек. Это можно короче выразить так: $l = \frac{v}{n}$ или $nl = v$. В воде, в которой звуковые волны распространяются в 4 раза скорее, чем в воздухе, длина волны того же (нормального) «ля» была бы в 4 раза больше, т.-е. около 3 *м*. Таким же образом легко найти, что длина воздушных волн, соответствующих крайним тонам, употребляемым в музыке, с повторяемостью приблизительно в 3000 и 4000 в секунду, будет около 11 *м* для низшего и около 8 *см* для высшего.

Какова длина электромагнитных волн? Она тоже может быть очень различна в зависимости от числа колебаний, посылаемых ежесекундно их источником. Например, динамомашины перемен-

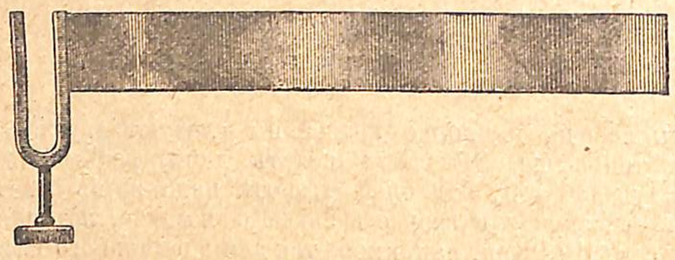


Рис. 389.

ного тока, обыкновенно употребляемые для электрического освещения, посылают в провода токи, направление которых меняется около сотни раз в секунду, что, следовательно, соответствует 100 одиночным колебаниям, т.-е. 50 полным. Разделив 300.000 *км* — путь, пробегаемый волною в секунду, — на 50, найдем 6000 *км*; такова длина электрических волн, расходящихся в пространстве от провода, по которому проходит обыкновенный электрический ток, применяемый для электрического освещения. Волны, посылаемые аппаратами искровой или беспроволочной телеграфии, имеют длину от нескольких сот до нескольких тысяч метров. Самые же короткие доныне полученные электрические волны измеряются длиною около 2 *мм*. Следовательно, соответствующее им число колебаний в секунду найдется, если разделить 300.000 × 1000 × 1000 (выраженную в *мм* длину пути, проходимого волнами в 1 сек.), или 300 миллиардов, на 2: это даст 150 миллиардов в секунду.

Световые волны составляют лишь малую область электромагнитных. От приведенных выше они отличаются тем, что они гораздо короче: это как бы мелкая

зыбь на водяной поверхности сравнительно с большими океанскими волнами. Их длину, как величину очень малую, удобно выражать в миллионных долях миллиметра. В округленных числах можно сказать, что длина волны крайнего красного света около 750, а крайнего фиолетового — около 400 миллионных миллиметра (или около $7^1/_2$ и 4 десятитысячных миллиметра). На толщину волоса с головы человека первых уложилось бы свыше сотни, а вторых — почти вдвое больше [1]). Волны, соответствующие крайним за-фиолетовым лучам, имеют длину около 0,000001 мм (около одной миллионной *мм*); следовательно, им соответствовало бы 300.000 биллионов колебаний в сек. Длина же исследованных крайних за-красных волн около $^1/_3$ *мм* (приблизительно биллион колебаний в секунду).

357. Остается еще один вопрос большой важности в учении о волнах. Каково направление электромагнитных колебаний по отношению к направлению, по которому они распространяются, т.-е. к направлению луча? Вопрос этот почти с очевидностью решается самым способом их возникновения (§ 353) в пользу поперечных, напоминающих собою колебания частиц водяной волны или волны, бегущей вдоль колеблемой веревки. Таково же направление колебаний и в том сравнительно ничтожном ряду электромагнитных волн, которые производят впечатление на наш глаз. Для сравнения припомним, что в случае звуковых волн колебание частиц направлено вдоль распространения волн; в этом отношении они походят на волны, гонимые ветром по хлебному полю; такие волны называются продольными.

358. Итак, к чему мы пришли? Световые волны оказываются частным случаем электромагнитных, свет — электромагнитным явлением, и глаз — своего рода электрическим органом... Неправда ли, читатель, вывод довольно неожиданный? Но это один из выводов, установленный в физике с такою уверенностью, как мало что иное. Если бы удалось произвести помощью электрических разрядов колебания достаточно быстрые — в 400 и более биллионов в секунду — то мы получили бы от них впечатление света. Это столь же несомненно, как то, что мы услышали бы басовой тон, если бы кому-нибудь удалось сделать ладонью руки в секунду 20 или более полных взмахов...

На вопрос о существовании и свойствах среды, по которой распространяются электромагнитные волны, мы здесь ничего не можем прибавить к тому немногому, что уже было сказано (§ 248), разве

[1]) Как ни мала длина световых волн, она, однако, превышает величину мелких предметов, которые еще хорошо видны в лучшие микроскопы. Отсюда вовсе не следует, чтобы световые волны можно было увидеть в микроскоп.

только то, что эта среда, какова бы она ни была, одна и та же в случае всяких электромагнитных, длинных и коротких, волн.

Учение об электрических волнах связано, главным образом, с именами трех знаменитых физиков: Фарадея, Максвелла и Герца. Первый приготовил почву для исследований, указав на важную роль среды в передаче электрических действий; его гений уже предчувствовал тесное соотношение между светом, магнитизмом и электричеством, и лишь глубокая старость положила предел его настойчивым поискам в этом направлении. Второй—ученик Фарадея, тоже англичанин, создал замечательную математическую теорию, объединившую учение о свете и электромагнитизме под именем электромагнитной теории света, и предсказал существование «эфирных» волн гораздо более длинных, чем световые, которые, однако, должны были распространяться с тою же скоростью, как свет. Наконец, германский физик Герц рядом мастерски задуманных опытов, обнаружил существование электромагнитных волн в действительности, изучил их основные свойства и определил экспериментальным путем скорость их распространения. Вот несколько любопытных мыслей из заключительных слов его речи, произнесенной на 62 съезде германских естествоиспытателей и врачей в Гейдельберге (1889), где Герц сообщает о результатах своих первых работ.

«Связь между светом и электричеством, которую теория предполагала и предвидела, теперь обнаружена. С возвышенной точки, которой мы достигли, нам открывается широкий кругозор на обе области. Они являются нам более обширными, чем мы знали их до сих пор. Господство оптики уже не ограничивается эфирными волнами в малую долю миллиметра: оно охватывает и такие, длина которых измеряется дециметрами, метрами, километрами. И, тем не менее, оптика, рассматриваемая с нашей новой точки зрения, является лишь малым придатком к области электричества. Эта последняя выигрывает всего более. Мы теперь находим электричество во множестве мест, в которых до сих пор о его существовании не имели достоверных сведений. Мы видим электрический процесс в каждом пламени, в каждом светящем атоме. Хотя бы даже тело не светило, если только оно испускает тепловые лучи, оно — источник электрического возбуждения. Область электричества распространяется, таким образом, на всю природу».

III. Шкала электромагнитных волн.

359. Сделаем общий обзор известных ныне электромагнитных волн. Их можно характеризовать или числом колебаний в секунду, как то мы большею частью делали раньше, или — и это более принято в физике — их длиною. Не забудем, что произведение длины волны на число колебаний в сек. равняется пути, пробегаемому волнами в течение секунды (§ 356); если из этих чисел известны два, то тотчас же определяется и третье. Чтобы весь ряд волн представить нагляднее, мы прибегнем к тому способу, который употребляется в музыке — расположим колебания в ряд октав. Как известно, октавою какого-либо тона называется тон, повторяемость колебаний которого (число колебаний в сек.) вдвое больше, чем данного тона. Второй октаве будет соответствовать повторяемость, в 4 раза большая, третьей — в 8 раз и т. д.; десятой октаве будет соответствовать число $2^{10} = 1024$. Приняв вместо этого круглым счетом 1000, мы найдем, что одиннадцатой октаве будет отвечать число 2000, двенадцатой — 4000 и т. д.; двадцатая октава (опять округленно) изобразится числом 1000×1000 или миллионом; тридцатая октава будет соответствовать 1 миллиарду, сороковая 1 биллиону, пятидесятая 1000 биллионов. Выпишем этот ряд так:

Октавы:	I	II	III ...	X	XI	XII ...	XX	XXX
	2,	4,	8 ...	1000,	2000,	4000 ...	1.000.000,	1.000.000.000

XL	L
1.000.000.000.000	1.000.000.000.000.000

Доступные нам «звуковые» колебания, т.-е. колебания частей обыкновенной материи — если принять за низшую границу слуховых восприятий приблизительно 20 колебаний в секунду, а за высшую — 40000, составляют около 11 октав, потому именно, что $40000 = 20 \times 2000$, а 2000 — отношение, отвечающее XI октаве.

Из электромагнитных волн наш глаз воспринимает, как «свет», только те, которым соответствуют колебания примерно от 400 до 750 биллионов в секунду—следовательно, в пределах около одной октавы. Но взглянем на весь ряд ныне известных электромагнитных волн.

На рис. 390 изображена шкала волн, составляющая 50 октав. Из них 22 октавы изображают собою область волн, полученных электрическим путем [1]); $8^1/_2$ октав соответствуют невидимым за-красным лучам спектра; промежуток около 1 октавы — видимым лучам, и, наконец, $8^1/_2$ октав невидимым за-фиолетовым. Что же касается промежутка в $2^1/_2$ октавы между за-красными и электрическими волнами, то он пока составляет пробел — область колебаний, до

[1]) В приведенной схеме дана только часть волн, полученных электрическим путем. За ними идет область более длинных волн.



Рис. 390. Шкала волн.

сих пор еще неведомую, и, конечно, понадобится еще не мало изобретательности, чтобы заполнить этот неизведанный сравнительно небольшой промежуток.

В недавнее время удалось определить длину волн Рентгеновых лучей (§ 376). Эта группа электромагнитных волн ныне расширяет всю область волн еще на $7^1/_2$ октав.

Область невидимого, но еще доступного исследованиям мира, таким образом, оказывается громадной. Физик нашего времени имеет много причин считать, что главные действия на театре природы разыгрываются именно в «мировой пустоте», в недоступном непосредственно нашим чувствам «электромагнитном мире»... Все усилия физика-теоретика направлены к тому, чтобы разгадать знаки этого мира, пока еще таинственного—«знаки, которыми написана книга природы» (слова, сказанные по сходному поводу великим Галилеем).

360. В заключение — еще несколько слов о беспроволочном телеграфировании, с которого мы начали эту главу. На практике добились того, что электромагнитными волнами, посылаемыми мощным электрическим вибратором чрез посредство высокой мачты, приводится в действие, благодаря целому ряду остроумнейших приспособлений, например, телеграфный аппарат Морзе, который точками и черточками отмечает кратковременные или длительные ряды волн. Первые опыты беспроволочной передачи условных знаков на небольшом расстоянии были произведены А. С. Поповым в Петербурге в 1895 г., а в следующем году на гораздо больших расстояниях — итальянцем Маркони. Что касается достигнутых уже результатов, то они не могут не поражать нашего воображения. Передача депеш через морские пространства на расстояния более тысячи верст уже не представляет редкости; установлены сношения, между прочим, чрез Атлантический океан между Европой и С. Америкой. В настоящее время не только многие суда таким образом сообщаются между собою и с берегом на больших расстояниях (что, конечно, очень важно в опасную для плавания туманную погоду), но уже достигнута возможность правильной доставки известий с материков океанским пароходом на всем протяжении их пути между Европой и Америкой... Беспроволочную передачу удалось применить и к теле-

фону. Таковы успехи сношений при помощи электромагнитных волн за недолгое время после первой удавшейся попытки.

Не надо упускать из виду, что изучение электромагнитных волн в обстановке физических лабораторий, с чисто научной целью, доставило все существенное, на чем основано ныне беспроводное телеграфирование. Интересно, что сигнализация с помощью электрических волн гораздо ближе к столь обычным световым или оптическим сигналам, чем сперва можно было бы подумать — что дело сводится только к различию в длине волны. Наша давняя привычка сноситься друг с другом при посредстве «световых» волн сделала это чем-то вполне обыкновенным, даже как будто понятным; между тем в научном смысле распространение коротких «световых» волн представляет собою задачу подобного же рода, как гораздо более длинных, получаемых с помощью электрических аппаратов.

IV. Обзор.

361. Явление электрического разряда имеет колебательный характер. Электрическая искра, проскакивающая между двумя проводниками, в действительности состоит из целого ряда быстро следующих один за другим заряжений проводников и последующих разрядов. Прибор, возбуждающий электрические колебания, называется вибратором.

От вибратора при электрических колебаниях в окружающем пространстве распространяются со скоростью света (300.000 килом. в секунду) электромагнитные волны. Эти волны подобны световым волнам и отличаются от последних только тем, что соответствующие им колебания, хотя и чрезвычайно быстрые, совершаются все же значительно медленнее. Можно говорить об электрических лучах, как раньше говорилось о световых и звуковых. Они так же, как световые и звуковые, могут отражаться, преломляться и поглощаться телами.

Длиною волны в учении о волнах называют то расстояние, на которое распространяется волнообразное движение в то время, как колеблющаяся частица совершила одно полное колебание. Длина волны тем больше, чем больше скорость распространения волн в среде и чем меньше число колебаний у вибратора в секунду. (Длина волны $l = \frac{\text{скорость распр. волн } v}{\text{число колеб. в сек. } n}$.)

Длина воздушных звуковых волн, соответствующих крайним тонам, употребляемым в музыке (приблизительно 30 и 4000 колеб. в сек.) около 11 метров для низшего и около 8 *см* для высшего.

Электромагнитные волны, посылаемые аппаратами беспроволочной телеграфии, имеют длину от нескольких сот до нескольких тысяч метров. Наиболее короткие из ныне полученных электрических волн имеют длину около 2 миллиметров.

Световые волны составляют лишь малую область электромагнитных волн. Их длина очень мала, составляя для крайнего красного света около 750 миллионных долей миллиметра, а для крайнего фиолетового около 400 миллионных долей миллиметра.

Если все электромагнитные волны расположить в ряд октав, то на долю видимого света придется меньше одной октавы; $8^1/_2$ октав будут соответствовать за-красным лучам и $8^1/_2$ за-фиолетовым; 22 октавы составят область лучей, полученных электрическим путем; $7^1/_2$ октав дадут лучи Рентгена. Промежуток между электрическими лучами и за-красными, $2^1/_2$ октавы,— область еще неисследованных колебаний.

Звуковые волны — волны продольные, электромагнитные — поперечные.

Волны, посылаемые электрическим вибратором, могут быть воспринимаемы приемниками или резонаторами, имеющими разнообразное устройство. На этом начале основано устройство беспроволочной телеграфии.

ГЛАВА ТРИДЦАТАЯ.

Источники энергии на земле. Воздух, жизнь, солнце.

I. Источники энергии на земле и их происхождение.

362. Главные наши источники энергии или работы: 1) энергия топлива, 2) энергия движущейся воды, 3) энергия движущегося воздуха, т.-е. ветра, 4) энергия рабочих животных. Энергия топлива, преимущественно каменного угля, являющаяся при его сгорании в виде теплоты, движет машины почти всех фабрик, железных дорог и судов земного шара; можно себе представить то тяжелое положение, в которое был бы поставлен род людской, если бы этот источник был утрачен... [1]) Работа движущихся вод находит ныне все большее и большее применение, благодаря возможности передавать энергию по проводам электрическим путем (§ 333). Энергия ветра еще сравнительно мало применяется. Энергией рабочих животных пользуются в современной жизни по мелочам, и эти двигатели все более и более вытесняются машинами. Посмотрим, где в конце концов общий источник всех этих видов энергии.

[1]) Однако же, это, несомненно, произойдет чрез какое-нибудь столетие, так как залежи ископаемого угля истощаются все увеличивающимся потреблением. Научному исследованию природы предстоит решить задачу огромной важности: найти источник энергии, который с избытком заменил бы собою энергию минерального топлива.

Проще всего обнаруживается этот источник в случае энергии движущейся воды и воздуха. Вода, испаряясь с поверхности морей и суши, ниспадает в виде дождя и других атмосферных осадков, которыми поддерживается энергия горных потоков, рек и водопадов. Но на испарение воды тратится тепловая энергия солнечных лучей. Она же, неравномерно нагревая атмосферу, производит то, что давление воздуха в одном и том же горизонтальном слое становится неодинаковым, и воздух перемещается из мест с большим давлением в места с меньшим. Чем значительнее разница в давлении, приходящаяся на данное расстояние (на единицу расстояния), тем быстрее движется воздух, тем сильнее действие ветра. Каковы могут быть эти действия, вероятно, всякий знает по описанию страшных ураганов, особенно часто разражающихся в жарком поясе земного шара, где именно атмосфера заимствует от солнца много энергии. Грозы, которыми обыкновенно сопровождаются бури и ливни, являются следствием образования сильных электрических напряжений в атмосфере, несомненно, возникающих тоже на счет затраты солнечной энергии.

О разложении углекислого газа хлорофиллом (листозеленью) растений при деятельном участии солнечных лучей мы уже говорили (§ 192). «Деятельное» участие их и состоит в трате лучистой энергии, которая поглощается хлорофиллом и запасается растением во вновь образующихся химических соединениях, идущих на поддержание его роста; она именно превращается в тепловую энергию, когда растение, например, дерево, сжигают в качестве топлива. Медленный процесс «обугливания» растений, некогда живших на земле, сохраняет в залежах ископаемых углей часть израсходованной в давние времена солнечной энергии — в форме той (химической энергии), которая свойственна углю и кислороду, вместе взятым. Таким образом, сжигая дерево и уголь для получения тепла, мы в сущности пользуемся той энергией, которую зеленые органы растений когда-то заимствовали от солнца. Но вещества, накопляемые в растениях при посредстве солнечных лучей, усваиваются в процессе питания организмами животных — травоядных, а чрез них и плотоядных. Таким образом, органические ткани нашего тела в конце концов являются постройкой,

созданной энергией солнечного излучения. Вся теплота, развиваемая процессами окисления в нашем организме, и всякий шаг наш — проявления все той же энергии. Недаром поэты, точно чувствуя то, что физика с очевидностью раскрыла позже, издавна дали человеку название «сына солнца»...

Отсюда мы видим, что источники энергии, которыми пользуется для практических целей не только первобытный, но и культурный человек, являются лишь преобразованной энергией солнечного излучения. Новейшие изобретения, касающиеся применений электричества, отнюдь не выходят за эту рамку, потому что энергия всех наших электрических токов возникает не иначе, как чрез затрату других форм энергии, в конце концов приводящихся к энергии солнечных лучей.

Земная атмосфера — та великая «лаборатория» нашей природы, при посредстве которой улавливается и преобразовывается в формы, необходимые для жизни, энергия солнца. Благодаря хлорофиллу — одному из замечательнейших веществ в природе — солнечная энергия поддерживает и умножает земную жизнь с ее созидательною деятельностью. Творчеством разума, этого высшего произведения жизни, создается наука, а с нею — все новые и новые средства для борьбы человека с разрушительной энергией природы и для устроения земной жизни на началах, внушаемых высшими велениями нашего духа...

II. Обзор явлений, обусловливаемых нашей атмосферною средою.

363. Атмосферный воздух, со свойств которого мы собственно и начали наш предмет, заслуживает того, чтобы под конец еще раз к нему вернуться — сделать общий обзор явлений, в толковании которых его свойства играют решающую роль; только теперь, когда мы ознакомились с разными отделами физики, этот обзор может быть сколько-нибудь полным.

Начнем с явлений, обусловленных механическими свойствами воздуха. Действия ветра, движущего и гнущего деревья, разрушительные последствия бури и т. п. мы очень просто объясняем себе давлением, которое производит на предметы движущийся воздух и хорошо знаем, что выдержать это давление без вреда может лишь достаточно прочный предмет. Как далеки от действительности были объяснения древних, приписывавших те же действия прихоти или гневу своих многочисленных божеств и в жертвоприношениях искавших защиты от опасности!

Мы теперь знаем, что вода во «всасывающем» насосе поднимается вследствие атмосферного давления, обусловленного тяжестью и упругостью воздуха. В минувшие времена, когда почти ничего еще не было известно о механических свойствах воздуха, ученые представляли себе дело совсем иначе: так как при вытягивании поршня под ним образовалось бы безвоздушное или «пустое» пространство, если бы оно не заполнялось водою, то поднятие жидкости объясняли себе некоторым «стремлением» заполнить пустоту, как бы «боязнью пустоты» (§ 88) в природе. За неимением лучшего, этим объяснением приходилось довольствоваться, пока не было обращено серьезное внимание на то, что вода поднимается вслед за поршнем не выше определенной границы (немного больше 10 метров). «Боязни пустоты» оказалось недостаточно, а появившееся около того же времени учение о тяжести и давлении воздуха дало факту надлежащее разъяснение. В настоящее время, правда, никто не будет серьезно ссылаться на боязнь пустоты, чтобы объяснить себе поднятие воды в насосе; тем не менее, понятия о разных явлениях «всасывания», «втягивания», «присасывания» и пр. в нашем обиходе все же довольно смутны и сбивчивы — в зависимости от неясных житейских представлений о механических свойствах атмосферного воздуха.

Отчего поднимается аэростат? Сплошь и рядом можно услышать ответ: потому, что он наполнен газом, который по легкости «стремится вверх». Если бы мы не знали, что в действительности это опять следствие атмосферного давления, то, пожалуй, могли мы даже объяснить себе поднятие действием некоторой «отталкивательной» силы между землею и аэростатом. А темный, невежественный человек не прочь увидеть в этом и проявление «нечистой силы»... Правильные понятия о механических свойствах воздуха сразу вносят сюда простоту и ясность, показывая нам, что ни аэростат, ни нагретый воздух, ни легкий газ сами по себе никакого «стремления вверх» не обнаруживают, а просто выталкиваются более тяжелым окружающим воздухом, занимающим их место.

С немалым трудом мы привыкаем к мысли, что все тела падали бы одинаково скоро, если бы падали совершенно свободно, под действием только силы тяжести. И наше обыденное ложное понятие о падении — бывшее, надо заметить, предметом горячих споров в науке прошедших времен — связано, конечно, с тем, что сопротивление воздуха сильно задерживает движение сравнительно легких предметов и едва заметно в случае тяжелых. Сопротивление воздуха движущимся в нем телам защищает земную поверхность от бомбардировки ее бесчисленным множеством метеоритов, которою иначе была бы уничтожена всякая жизнь.

Малейшие частички тумана и пыли падают в воздухе чрезвычайно медленно: они долго могут оставаться «взвешенными» в воздухе. Это обусловливается некоторым внутренним трением или «вязкостью» воздуха. Отсюда — возможность образоваться облаку, туче. Наблюдения, кроме того, показали, что мельчайшие капельки воды, составляющие массу тумана или облака, образуются именно вокруг носящихся в воздухе посторонних частиц: без участия последних образование дождевых капель было бы очень затруднено, и осаждение атмосферной влаги происходило бы совсем иначе, чем в действительности.

Благодаря взвешенным в воздухе частицам твердых тел и тумана, сами по себе невидимые солнечные лучи часто являются нам светлыми полосами, а это, в свою очередь, закрепляет в нас обыденное представление о световых лучах, как о чем-то таком, что видимыми полосками или нитями расходится от светового источника.

Микроскопически-малые живые существа (микроорганизмы) находят в воздухе среду, в которой они, благодаря ее «вязкости», могут удерживаться неопределенно долго; таким образом, они разносятся и проникают почти всюду, куда только проникает воздух, а с этим связано неисчислимое множество процессов, как поддерживающих жизнь на земле, так и подавляющих ее (заразные болезни).

Богатый мир звуков создается для нас чрез посредство воздуха благодаря его упругости. Отражением воздушных волн мы очень просто объясняем себе эхо, которое в древности склонны были приписывать живущим в лесах мифическим существам, и которое для наивного понимания ребенка представляется как бы ответным откликом «невидимки».

Приблизительное постоянство температуры кипения воды обусловлено атмосферным давлением. Повсеместно совершающееся медленное испарение воды происходило бы в отсутствии воздуха совсем иначе: оно превратилось бы в бурное кипение. Мало того. Вода является в виде жидкости — в открытом вместилище — только благодаря присутствию воздуха: в пустоте лед прямо превращается в пар без промежуточного перехода в состояние жидкой воды.

Множество химических явлений связано с тем, что наша атмосфера имеет тот, а не иной состав: таково, например, ржавление металлов, образование окалины на их поверхности при накаливании, горение, гниение, — не говоря уже о химических процессах, связанных с дыханием и поддерживающих нашу жизнь. Во времена, когда состав воздуха еще не был известен, явления горения представляли собою загадку, подававшую повод к немалым противоречиям и спорам. В частности, увеличение веса при образовании окалины металлов пытались объяснить себе выделением из металла некоторой чрезвычайно легкой материи, названной «флогистоном», и всякое горение рассматривали, как процесс выделения флогистона, не давая себе, впрочем, достаточно ясного отчета, что за вещество флогистон. После того, как в конце XVIII века была выяснена роль кислорода, все подобные догадки отошли мало-по-малу в область преданий. Кроме того, для нас ныне вполне ясна вся условность разграничения «горючего» от «поддерживающего горение» (в водородной атмосфере «поддерживающим горение» был бы водород, а кислород явился бы «горючим» газом); мы знаем, что вода вовсе не «порождается» водородом (откуда именно название этого газа), а происходит чрез соединение водорода и кислорода (в водородной атмосфере порождающим воду водородом представился бы кислород, так как он образовал бы воду при сжигании). Нельзя не упомянуть еще и о том, что таинственный процесс питания и роста растений является нам в его настоящем свете только благодаря знанию состава воздуха.

Оптические свойства атмосферного воздуха — также обильный источник наших обычных представлений об окружающем мире. Рассеяние света воздухом и носящимися в нем посторонними частичками — причина того, что глаз наш днем непрерывно возбуждается извне, почему мы и видим окружающее нас пространство как бы «наполненным светом»; совсем иное было бы в случае отсутствия атмосферы; пространство над нами должно бы было казаться нам совершенно черным. Синева неба, с ее различнейшими оттенками, и все богатство красок заката, как мы знаем, связаны с присутствием воздуха. Благодаря преломлению лучей, поступающих в атмосферу из мирового пространства, астроном должен направлять свои трубы не в точности по тому направлению, в котором в действительности находится наблюдаемая им звезда; солнце и луна представляются нам на горизонте сплющенными; мало того: в момент, когда они в действительности только что зашли за горизонт, мы еще видим их — их изображение — именно благодаря атмосферному преломлению. Когда однородность атмосферы нарушается сверх обычной меры, создаются условия для появления миражей, которые способны совершенно расстроить столь привычное нам ощущение реальности окружающего. Если бы однородность воздуха часто и сильно нарушалась, то наше суждение о действительном и кажущемся было бы чрезвычайно затруднено. Поглощение воздухом за - фиолетовых лучей ведет к тому, что они в сравнительно малом количестве достигают поверхности земли; а это очень важно для жизни растений, так

как избыток за-фиолетовых лучей, вероятно, был бы для них гибельным.

Величественные электрические явления в атмосфере, производящие грозу, опять-таки связаны с определенными физическими свойствами воздуха: с его способностью наэлектризовываться и дурной электрической проводимостью.

Было бы крайне затруднительно перечислить все то множество явлений, которое объясняется свойствами нашей атмосферы. Собранные здесь примеры (большинство которых там и сям уже встречались раньше) достаточно убедительно показывают, что с определенными физическими и химическими свойствами окружающей нас материальной среды теснейшим образом связано не только наше существование, но и наше обыденное миропонимание.

III. Полная энергия солнечного излучения.

364. Общее количество энергии, получаемое землею от солнца, конечно, очень велико. Опыты и вычисления показывают, что годового притока теплоты от солнца было бы достаточно, чтобы расплавить ледяную кору толщиною в 54 метра (25 сажен), которая покрывала бы собою всю землю [1].

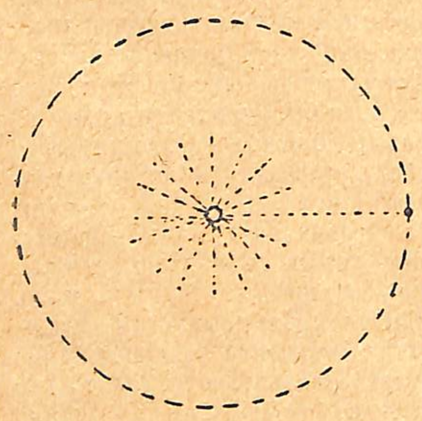


Рис. 391.

Но о громадности всей энергии солнечного излучения еще нельзя составить себе понятие по тем действиям, которые производятся ею на нашей земле, как бы велики они нам ни казались. Надо принять в расчет, что приходящееся на долю земного шара количество энергии совершенно ничтожно сравнительно с тем, какое посылается солнцем в пространственные бездны. Гигантский раскаленный шар, составляющий солнце, испускает лучистую энергию равномерно во все стороны (рис. 391) и мог бы покрыть своими лучами,

[1]) Зная количество солнечной энергии, воспринимаемой ежеминутно кв. метром земной поверхности (§ 343), можно вычислить, что приход солнечной энергии для всей земли соответствует круглым счетом мощности 300 биллионов паровых лошадей.

на расстоянии земли, поверхность, радиус которой равняется 150 миллионам километров (140 милл. верст); простое вычисление (требующее, однако, некоторых сведений из геометрии) показывает, что вся эта поверхность больше той ее доли, которую на ней занимает земля, в $2^1/_4$ миллиарда (2.250.000.000) раз: во сколько раз, следовательно, общее количество испускаемой солнцем энергии больше того, которое улавливается землею. Конечно, никакие другие сравнения не помогли бы нам лучше представить себе все это колоссальное количество энергии.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ПЕРВАЯ.

О мирах внеземных. Всеобщее тяготение. О природе солнца и звезд.

I. Солнечная система.

365. Наше солнце, источник жизни на земле, есть центральное тело целой семьи, «солнечной системы», все члены которой, если бы сложить их вместе, составили бы тело лишь незначительной с солнцем величины. Солнце по объему в 1 миллион с четвертью раз больше земли; это значит, что надо было бы сложить вместе 1.250.000 таких шаров, как земля, чтобы вышел шар, равный солнцу. Расстояние солнца от земли (150 миллионов километров, или 140 милл. верст) таково, что скорый поезд, делая безостановочно по 1500 верст в сутки, прошел бы все расстояние лишь в 250 лет (свет пробегает его в $8^1/_3$ минут). Если представить себе солнце в виде шара диаметром в 1 аршин, то земля была бы приблизительно с горошину средней величины и поместилась бы в расстоянии сотни шагов. Вокруг солнца обращаются:

1) Большие планеты, числом восемь, из которых три меньше земли, а остальные больше; наша земля пятая по порядку величин и третья — по счету расстояний от солнца. Планеты, кроме двух ближайших к солнцу, имеют «спутников», обращающихся вокруг них подобно тому, как луна вокруг земли. Сатурн, кроме того, окружен несколькими кольцами (см. рис. 392 где промежутки между отдельными кольцами не показаны) [1]).

[1]) Уран и Нептун не были известны в древности: Уран открыт в конце XVIII в., а Нептун — около средины XIX.

2) Малые планеты или планетоиды (астероиды), из которых самые большие имеют диаметр 300 — 400 *км*,

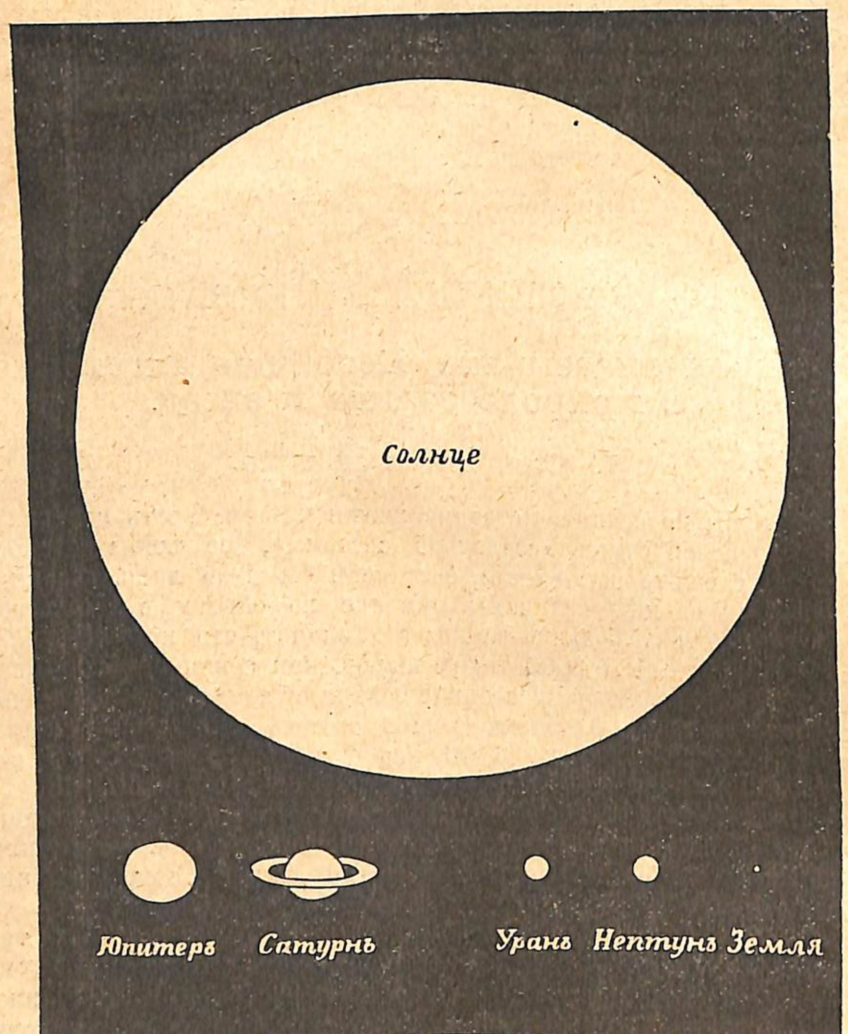


Рис. 392. Солнце и планеты.

а самые малые—несколько десятков километров. Число известных планетоидов по мере усовершенствования астрономических наблюдений все возрастает. В настоящее время оно недалеко от 1000.

3) Кометы — именно те из них, появление которых из пространственных бездн наблюдалось более одного раза и которые можно считать принадлежащими к солнечной системе. Из них Галилеева комета имеет самое длинное время обращения (около 76 лет); в наибольшем своем расстоянии от солнца она заходит за пределы орбиты самой дальней из планет, Нептуна, отстоящей от солнца на $4^1/_2$ миллиарда километров, или на 4 слишком миллиарда верст.

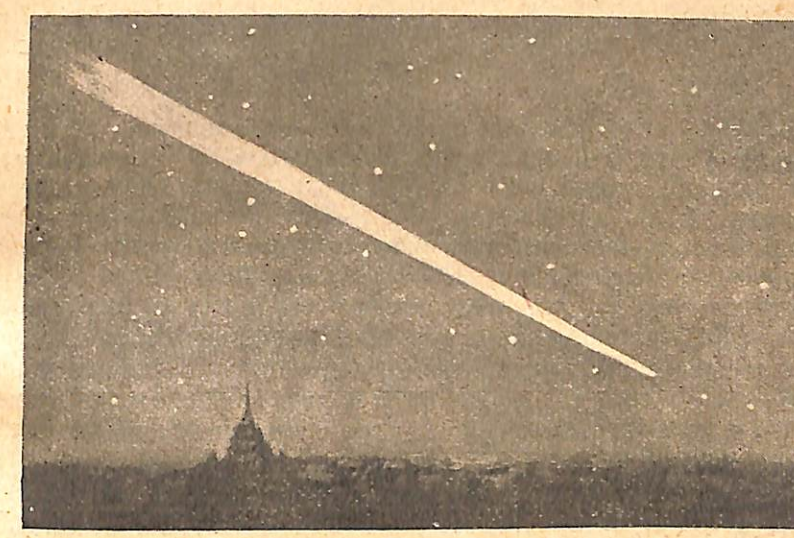


Рис. 393. Комета 1843 г.

4) Несметное множество сравнительно мелких тел, метеоритов: они именно кажутся нам «падающими звездами», когда, влетая в земную атмосферу с огромной быстротою, накаливаются в ней до самосвечения. В музеях разных стран собрано несколько сот образцов упавших на землю метеоритов: любопытно, что значительная часть всех их (более трети) состоят, главным образом, из железа. О знаменитом по размерам железном гренландском метеорите было упомянуто. Есть основания полагать, что на землю падает ежегодно, в среднем, до тысячи метеоритов [1]). Разрушившиеся во время полета чрез атмосферу метеориты достигают земли лишь в виде метеорной пыли.

[1]) Их падало бы несравненно больше, если бы от них нас не защищала атмосфера, в которой большинство их разрушается.

Солнце — эта центральная громадина — «правит» движением всех членов своей многочисленной семьи; правит — но как? Часто можно услышать готовый ответ: планеты притягиваются солнцем. Пусть так; но сказавший это будет поставлен втупик, если его вслед затем спросят: почему же тогда планеты не упадут на солнце? Почему наш земной спутник, луна, не упадет на землю, которая ведь тоже «притягивает» луну? Как видите, в этом стоит разобраться...

II. Почему луна не упадет на землю, а земля на солнце.

366. *Луна, несомненно, упала бы на землю, если бы была сперва в покое* и была просто отпущена, как мы роняем камень на землю. Но луна не находится в покое, а движется, и это изменяет все дело — как боковой толчок, данный камню, изменяет его движение относительно земли сравнительно с простым падением. *По закону инерции* (§ 112) движущееся тело, будучи предоставлено самому себе, продолжает двигаться по прямой линии с постоянною скоростью; всякое изменение движения происходит от действия на него внешней «силы», т.-е. другого тела. Планеты и луна движутся не прямолинейно, а приблизительно по кругам около центральных тел; следовательно, должна существовать причина, непрерывно уклоняющая планеты и луну от движения по прямой линии. Обратим сперва внимание на луну. Что за причина уклоняет ее движение? Да это та самая сила, которую мы на земле называем силою тяжести! Действие ее, ослабляясь с увеличением расстояния, простирается очень далеко за пределы нашего земного мира. Тело, удаленное от земной поверхности на 6000 верст, т.-е. считая от центра земного шара, *вдвое* дальше того расстояния, на котором оно находится у земной поверхности, притягивается землею уже *вчетверо* слабее; с увеличением расстояния *втрое* против первоначального, притяжение ослабевает *в десять раз*... При увеличении расстояния в 10 раз, притяжение становится слабее в 100 раз, и т. д. [1]).

Луна находится от центра земли в расстоянии около 60 радиусов земного шара: на этом расстоянии притяжение в 60×60, т.-е. в 3600 раз слабее, чем близ земной поверхности. Но

[1]) Нельзя не заметить, что притяжение ослабляется с увеличением расстояния по тому же закону, как освещенность площадки лучами, исходящими из одной точки (§ 230).

как бы оно ни было ослаблено, оно на этом расстоянии все же существует: если бы луна не имела самостоятельного движения, она должна была бы приближаться к земле и, наконец, упасть на нее...

Привяжем к резиновому шнурку камень и заставим его быстро вращаться вокруг руки, как показывает рис. 394. Резинка тянет камень к руке, и, однако, во время вращения он не приближается к ней. Почему? Потому, что в каждой точке своего пути камень по инерции стремится двигаться дальше прямолинейно: если бы он вдруг сорвался, он направился бы по *касательной* к кругу — как это показано на рис. 395 для нескольких точек его пути. Вот причина, не дающая камню во время вращения приблизиться к руке. Причина же, непрерывно уклоняющая камень от движения по прямой линии, — сила натяжения резинки. Не скажем ли мы того же самого, только с различием в нескольких словах, про луну в отношении ее к земле?



Рис. 394.

В каждой точке пути луна стремится продолжать свое движение по касательной, и это именно не дает ей упасть на землю, так как постоянно «относит» ее в сторону; притяжение же ее землею непрерывно уклоняет луну от прямолинейного движения. Пусть не покажется смешным, но ведь выходит, что луна и *падает* на землю, да никак не успевает упасть...

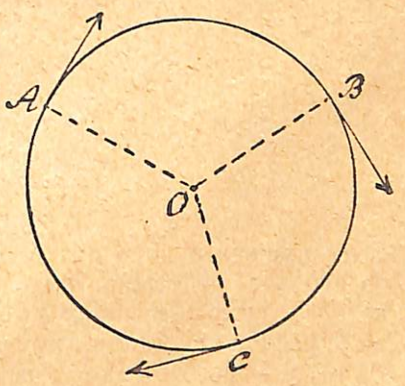


Рис. 395.

367. Для лучшего уразумения дела войдем еще в некоторые подробности. Мы только-что представили себе явление так, что луна падает по направлению к земле, но, вместе с тем, непрерывно отклоняется в направлении перпендикулярном к падению, так что в конце концов остается от земли (приблизительно) на одинаковом расстоянии. Что такое объяснение не заключает в себе ничего странного, покажет нам разбор следующего

воображаемого примера. Положим, что из большой пушки, стоящей на высокой горе, выбрасывается по горизонтальному направлению ядро: описав кривую, оно в расстоянии десятка-другого верст упадет на землю. Если бы не было воздуха, оно успело бы, конечно, пролететь гораздо дальше, прежде чем, падая, достигло бы земной поверхности. При достаточной скорости почему бы ему не облететь четверти, половины земной окружности и даже больше? Можно представить себе, наконец, такую скорость, при которой кривизна полета ядра стала бы одинаковою с кривизной земной поверхности: тогда оно облетело бы вокруг земного шара, нисколько не приблизившись к поверхности земли. По известному закону падения (§ 114), тело в первую секунду проходит круглым счетом 5 метр., во вторую — втрое больше, т.-е. *15* м, в третью — в 5 раз больше и т. д.

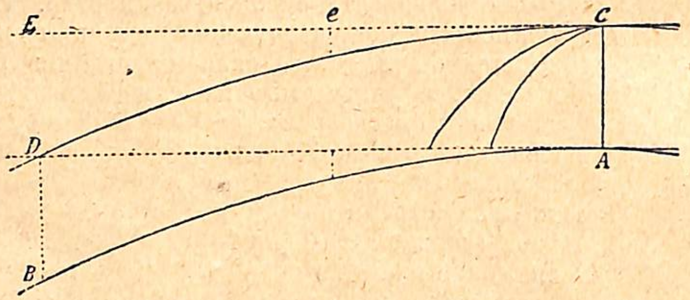


Рис. 396.

Если пушечное ядро брошено по горизонтальному направлению, то оно под действием тяжести удалится от прямой линии, по которой было брошено, т.-е. упадет на 5 *м* в первую секунду, на тройное пространство во вторую, на пятерное в третью и т. д. — совершенно так, как если бы оно начало падать, находясь сперва в покое. Пусть *AB* (рис. 396) будет часть земной поверхности, *AD* — горизонтальная касательная в точке *A*, т.-е. направление, по которому наблюдатель смотрел бы в горизонтально установленную трубу. Вычисление показывает, что земная поверхность, вследствие кривизны своей, уклоняется вниз от этой линии зрения приблизительно на 8 *см* в конце первого километра, еще на $3 \times 8 = 24$ *см* в конце второго и т. д. На расстоянии 8 *км.* уклонение достигнет 5 метров, на 16 километрах сюда прибавится еще 3×5 метров, так что уклонение будет равно 20 метрам и т. д. Положим, что ядро было выброшено со скоростью 8 километров в секунду, и что нет сопротивления воздуха. В первую секунду оно долетит до точки *e*, лежащей на

прямой *CE* в расстоянии 8 *км* и по закону падения удалится в это время от точки *e* вниз на 5 метров. Но мы только что видели, что на расстоянии 8 *км* самая поверхность земли отгибается вниз на те же 5 метров. Итак, ядро нисколько не приблизилось бы к земле. По истечении второй секунды ядро пришло бы в *E*, но, вследствие тяжести, упало бы в то же время еще на 15 метров, т.-е. в общем на 20 метров. На этом же расстоянии земная поверхность опустилась ниже прямой *CE* еще на 15 метров, так что расстояние *BD* опять равно 20 метров. Таким образом, при отсутствии сопротивлений, ядро продолжало бы двигаться с постоянной скоростью и в неизменном расстоянии от земной поверхности: оно всегда падало бы как раз на ту величину, на которую отгибается поверхность земли. Наконец, обойдя вокруг земли в 1 час 24 минуты, оно вернулось бы в точку *C* (см. также рис. 397). Следовательно, ядро сделалось бы «спутником» земли; но только этот спутник был бы гораздо ближе луны и имел бы гораздо меньшее время обращения. То же самое произошло бы при меньшей скорости ядра, если бы притяжение земли ослабело.

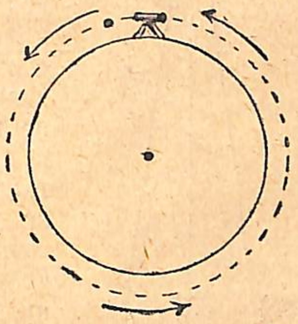


Рис 397.

Пользуясь выражением, к которому мы уже прибегали в § 366, мы можем сказать, что два движения луны — ее непрерывное падение к земле и движение по инерции в направлении перпендикулярном падению — сливаются в замкнутый путь вокруг земли [1].

Наше воображаемое ядро, чтобы сделаться земным спутником, должно было бы иметь, как показывает вычисление, скорость около $7^1/_2$ верст (8 километров) в секунду — скорость, которая превышает уже достигнутую дальнобойными орудиями меньше, чем в 10 раз. Но, конечно, ни при какой скорости вылета не удалось бы осуществить такого опыта: помехой явилось бы неизбежное сопротивление воздуха, сопротивление, которого именно не встречает на своем пути луна. Силе, бросившей ядро горизонтально, отвечает в случае луны некоторый первичный импульс или толчок, вследствие которого она, без притягательного действия земли, двигалась бы по закону инерции прямолинейно. На расстоянии луны земное притяжение в 3600 раз слабее, чем

[1] В действительности земной шар обращается около солнца, увлекая за собою и луну, так что путь луны в пространстве (относительно солнца) представляет собою некоторую извилистую линию.

близ поверхности земного шара. При столь ослабленном притяжении, чтобы сделаться спутником земли, тело должно было бы иметь скорость всего около 1 километра в сек. (приблизительно скорость ядра дальнобойного орудия) по направлению, перпендикулярному к прямой, соединяющей его с земным центром. Такова именно скорость движения луны по ее пути вокруг земли. То, к чему мы пришли, разбирая движение луны вокруг земли, относится, вообще говоря, и до обращения планет вокруг солнца.

368. Следующий простой опыт показывает, каким образом движение, направленное к некоторому центру, слагаясь с одновременным движением по перпендикулярному направлению, может дать начало движению вокруг центра. Если мы отклоним простой маятник (состоящий из подвешенного на нити шарика) от отвесного положения и отпустим, не толкнув шарика в сторону, то последний начнет двигаться, приближаясь к низшему своему положению. Но если мы вместе с тем дадим шарику боковой толчок — приблизительно по направлению, перпендикулярному тому, по которому шарик начал бы двигаться от действия тяжести, — то увидим, что он станет описывать путь *ACBD* вокруг некоторой центральной точки (рис. 398). Здесь тоже можно сказать, что стремление шарика в каждой точке пути продолжать движение по прямой линии — по касательной — та причина, которая мешает ему упасть в низшее положение, и если бы всякие сопротивления отсутствовали, то шарик продолжал бы безостановочно двигаться по своей «орбите».

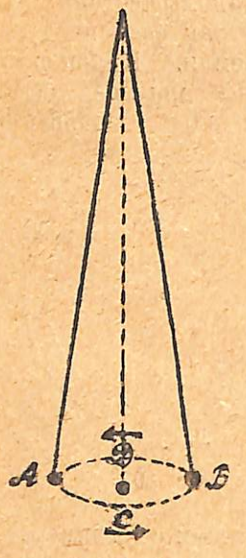


Рис. 398.

Наш опыт — лишь весьма несовершенное подражание движению небесного тела вокруг притягивающего его центрального. Осуществить что-либо тождественное небесным движениям на земле — не в наших силах. И все же нельзя сомневаться, что дело происходит именно так, как нельзя сомневаться в том, что тело, раз приведенное в движение и предоставленное только самому себе, продолжало бы безостановочно двигаться прямолинейно со скоростью, которая ему сообщена. Есть выводы из наблюдений, обязательные для нашего ума, хотя мы и не можем подтвердить их средствами, имеющимися в нашем распоряжении на земле...

369. Является вопрос: если земля притягивает тела, если взаимно притягиваются земля и луна, солнце и планеты, то не

будет ли всякое тело стремиться ко всякому другому? Ведь солнце, земля, луна — физические тела, как всякие другие, только гораздо больших размеров, чем наши земные предметы. Ответ физики будет: да, все тела взаимно притягиваются, стремятся сблизиться, и сближались бы, если бы не встречали помех в трении и сопротивлении воздуха. Это с несомненностью доказано опытами, при которых принимались всевозможные меры для ослабления противодействий движению. Например, если на очень чувствительных весах — нарочно приспособленных для подобных исследований — тщательно уравновесить два груза, а потом под одну из чашек подкатить массивный предмет, то эта чашка заметно перетягивает. Тщательными наблюдениями найдено, что отвес немного уклоняется в сторону горы, если находится от нее поблизости (на рис. 399 величина отклонения для ясности увеличена во много раз).

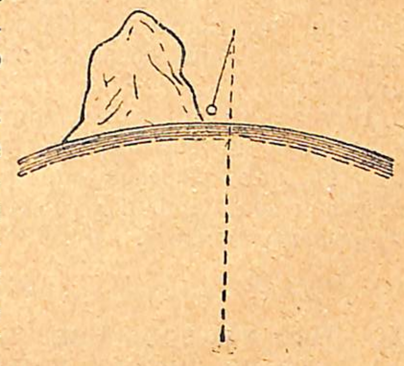


Рис. 399.

Стремление тел взаимно сближаться, свойственное каждой паре тел, каждым двум малейшим вещественным частичкам, называется всеобщим тяготением вещества. Выходит, что притяжение между землею и земными телами, т.-е. весомость тел, есть лишь частный случай всеобщего тяготения. Мы видим еще раз, что тело «весит» не само по себе, а вследствие притяжения его другим телом — землею. С удалением от земли притяжение ослабевает, и вес тела уменьшается. Это тоже доказано точными опытами, хотя уменьшение веса на доступных нам высотах и очень мало. Если бы мы имели достаточно чувствительные весы, то, поднявшись с ними на некоторую высоту, нашли бы, что фунтовая гиря вытягивает уже меньше фунта; на 8-верстной высоте вес гири, определенный таким образом, был бы приблизительно на $^1/_{400}$ меньше, чем на уровне моря, т.-е. фунтовая гиря сделалась бы легче на 1 грамм ($^1/_4$ золотника). Тела «весят» не только на земле, но, конечно, и на других небесных телах; но вес одного и того же тела на них будет очень различен, смотря по силе притяжения, которая на различных небесных телах, в зависимости от их размеров и плотности материала, не одинакова. Вычислено, что, например, на солнце наша фунтовая гиря производила бы на подставку такое давление, как тело, весящее на земле 27 или 28 фунтов;

человек, при той крепости частей тела, какою он обладает, был бы на солнце раздавлен собственным весом. На луне тела весят в 6 раз меньше, чем на земле. Если бы тело было освобождено от всякого притяжения другим, то оно вовсе не имело бы веса [1]).

370. Из сказанного в § 369 видно, что тела взаимно притягиваются по некоторому определенному закону; он дает возможность вычислить силу притяжения между телами на любом их расстоянии. Этим законом астрономы пользуются, чтобы точнейшим образом вычислить движения тел солнечной системы и предвидеть за много лет вперед их положения в пространстве. Нас не может не удивлять то, с какою пунктуальностью оправдываются предсказания астрономов, например, относительно времени наступления солнечных и лунных затмений или времени появления комет (времени их прохода поблизости солнца). Но всей этой точностью астрономы обязаны знанию великого закона всеобщего тяготения...

Прибавим, что закон этот нашел применение и к очень отдаленным от нас мирам — к некоторым звездным «системам», похожим, как оказалось, на нашу солнечную. Но об этом мы не можем здесь распространяться, а скажем кое-что по другому интересному вопросу.

III. Что удалось узнать о природе небесных тел по свойствам испускаемого ими света.

371. С солнцем наша земля связана энергией его притяжения, а наше существование на земле — энергией его лучей. Эти же лучи несут с собою и кое-какие следы своего происхождения, по которым можно судить о том, что за тело — солнце и из каких простых веществ состоит его материал. Средством являются наблюдения над спектром лучей, о чем мы говорили § 271. Вот несколько результатов первостепенной важности, добытых многочисленными и тщательными спектральными исследованиями по отношению к телам звездного мира.

Наше солнце есть сильно раскаленное тело, которое с поверхности покрыто сравнительно тонким слоем менее высокой температуры. Лучи центрального ядра, проходя сквозь эту оболочку, частью поглощаются составляющими ее веществами, вследствие

[1]) Напомним (§ 6), что слова «тяга», «притяжение», «тяготение» — чисто условные: быть может, что-либо толкает тела извне, а не тянет их друг к другу.

чего и происходят темные полоски (Фраунгоферовы линии) в солнечном спектре. Водород и металлы в газообразном состоянии, между которыми, например, много паров железа,—вот главные составные части поверхностного слоя. В этой своеобразной «атмосфере» нашего светила непрерывно происходят такие перемещения масс, такие бури, о силе которых нельзя составить себе и приблизительного понятия по нашим земным.

Любопытно, что спектральным путем на солнце было найдено новое простое тело, названное гелием (от Helios — солнце), которое лишь 25 лет спустя открыто было на земле.

Судя по спектрам звезд, входящие в их состав газы и пары металлов относятся к числу известных нам и на земле.

ГЛАВА ТРИДЦАТЬ ВТОРАЯ.

Великое в малом: строение атома, электроны; катодный поток и Рентгеновы лучи; радий и радиоактивный распад атомов. (Открытия последней четверти века [1]).)

I. Молекулы; электронное строение атома.

372. Из безграничных мировых бездн мы спускаемся к тому малейшему пространству, которое занимают собою молекула и атом вещества. Здесь для нашего воображения опять трудная задача— представить себе всю малость предметов, с которыми приходится иметь дело. Мы уже упоминали выше (§ 51), что в 1 кубическом сантиметре газа, например воздуха, при температуре 0° и давлении 760 *мм* ртутного столба, содержится около 27 триллионов (27 с 18-ю нулями) движущихся молекул. При крайних степенях разрежения, достижимых ныне искусственно, можно уменьшить количество воздуха в сосуде в сотню миллионов раз против того, какое содержится в нем при обыкновенном атмосферном давлении. В куб. сантиметре столь сильно разреженного воздуха все же будет содержаться $^1/_4$ биллиона молекул. Вот как еще далека достижимая нашими средствами «пустота» от пространства, в котором не содержалось бы ничего вещественного.

[1]) Эта глава предполагает, что читатель ознакомится с содержанием всего предыдущего.

Каковы размеры молекул, т.-е. каков их диаметр? На это можно ответить вообще, что подходящей единицей служит здесь десятимиллионная доля миллиметра; например, молекулы воздуха (кислорода и азота) имеют диаметр около 5 таких единиц, т.-е. около одной двухмиллионной миллиметра. На толщину волоса с головы человека (около 0,1 *мм*) их улеглось бы подряд до двухсот тысяч, а на самую тонкую черту, какую еще можно видеть в сильнейший микроскоп и толщина которой недалека от одной десятитысячной миллиметра,—около 200.

Непрерывное движение молекул нельзя было отрицать и раньше—в виду, например, явлений диффузии, т.-е. самопроизвольного проникновения одного вещества в массу другого, не только в случае газов и жидкостей, где это обнаруживается простыми опытами (§ 51), но также и в случае твердых тел. С полною же очевидностью оно обнаруживается следующим любопытным явлением, которое каждый может заметить в поле зрения микроскопа. Погруженные в жидкую среду мелкие тельца находятся в непрерывном дрожательном движении и в то же время медленно передвигаются с места на место: с первого раза можно подумать, что имеешь дело с самопроизвольным движением живых организмов. Исследование этого «Броунова движения» (названного так по имени обратившего на него внимание ботаника Броуна) очень убедительно показало, что взвешенные в жидкости мелкие тельца движутся под действием ударов молекул жидкости. Таким же образом движутся частицы табачного дыма, взвешенные в спокойном воздухе. Не так давно открыт прием наблюдения, который подает надежду увидеть в микроскоп наиболее крупные молекулы, например, молекулы яичного белка или картофельного крахмала. По замыслу этот прием удивительно прост. Как ни ничтожны размеры пылинок, носящихся в воздухе, однако, мы видим их, когда они искрятся при сильном освещении сбоку солнечными лучами. Сильным боковым освещением рассматриваемых в микроскоп предметов удается достичь того, что частички, по малости недоступные зрению в микроскоп, становятся заметными. Но именно только «заметными»: можно уследить за их движением, сосчитать их число, но нельзя различить их формы. Рис. 400 поясняет, как именно производится это боковое освещение; самый прибор называется тогда ультрамикроскопом (по-русски это значило бы, пожалуй, «сверхмикроскоп»). Он позволяет еще различать частички размерами в несколько миллионных миллиметра, если они не слишком близки одна от другой,—следовательно, частички, которые только в десяток раз больше обыкновенных молекул.

373. Но молекулы построены из атомов. Не так далеко время, когда атомы, соответственно самому их названию (атом по-гречески значит «неделимый») почти всеми считались последним пределом делимости вещества—«основными камнями мироздания». Но успехи науки о природе за последнюю четверть века показали, что атом—нечто очень сложное по своему внутреннему устройству. Атом железа, например, так сложен, что, по сравнению с ним, как выразился один английский физик, современный рояль, с его множеством частей, должен бы назваться «простым телом»...

Тайна строения атомов раскрылась почти с очевидностью тогда, когда было обнаружено, что атомы некоторых веществ способны распадаться, выбрасывая из своих недр некоторые составные части наружу. Между этими веществами особенно значительны своими свойствами радий и сходственные с ним вещества, получившие название радиоактивных. Подробное их изучение дало возможность составить себе понятие о строении их атомов, а отсюда сделать некоторые заключения о природе атомов вообще.

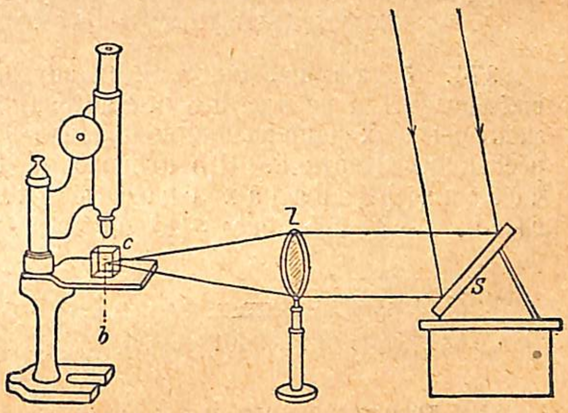


Рис. 400. Ультрамикроскоп.

Из чего же состоит атом по представлениям современной физики? Из положительно наэлектризованного материального ядра, около которого движутся (колеблются, вращаются) малейшие частички отрицательного электричества, названные электронами. Атом—своего рода миниатюрная планетная система, в которой роль центрального тела (солнца) играет материальное ядро, а роль планет—электроны. Но силы, связывающие их в одно целое, иные, нежели всеобщее тяготение, действующее между телами солнечной системы. Диаметр электрона не составляет и одной стотысячной диаметра атома, и их относительные размеры можно пояснить сравнением с «мухой, носящейся в соборе». Электроны вообще движутся с чрезвычайной быстротой, могущей достигать в некоторых случаях почти

скорости света (300.000 *км* в сек.); понятно, что число их колебаний или оборотов в 1 секунду около центра, при малости пути, должно быть громадно... Колебания электронов посылают в окружающую среду электромагнитные волны, те волны, малая доля которых, соответствующая числу колебаний от 400 до 750 биллионов в секунду, воспринимается нами, как свет.

Электрон, подобно малейшему телу, заряженному (отрицательным) электричеством, производит электрические действия, создает «электрическое поле», а движущийся электрон, кроме того, образует вокруг себя «магнитное поле» и представляет собою электрический ток.

II. Электрический разряд чрез разреженные газы; катодный поток (катодные лучи).

374. Электроны, движущиеся внутри атомов металла, могут выбрасываться из них целыми потоками под влиянием сильных электрических напряжений и проявлять себя целым рядом интереснейших действий. Это происходит именно при электрических разрядах сквозь сильно разреженные газы. Если пропускать разряд чрез трубку, из которой выкачивается воздух, то внешность явления мало-помалу совершенно изменяется: вместо резко очерченной искры с ее характерным треском, сперва получается лилового цвета бесшумная все расширяющаяся полоса (лента) и, наконец, когда давление уменьшится до нескольких миллиметров ртутного столба, вся внутренность трубки светится лиловым слоисто-перемежающимся светом (напоминающим явление полярных сияний). Одна из трубок с разреженным воздухом для подобных наблюдений представлена на рис. 401; она снабжена впаянными у концов проволочками для присоединения, например, к кондукторам электрофорной машины. Изготовляются также трубки, наполненные различными газами при давлении в несколько миллиметров. Каждый газ под действием электрического разряда светится в трубке своим собственным светом и дает при этом линейчатый спектр (§ 271), отличающий его от всякого другого газа [1]).



Рис. 401.

[1]) Надо заметить, что хотя разреженный газ от действия разрядов нагревается, но не настолько, чтобы свечение можно было приписать его накаливанию. Мы здесь опять встречаемся с одним из многих примеров свечения без накаливания.

375. В случае электрического разряда чрез газ при все меньших и меньших давлениях, внутренность трубок, наконец, почти перестает светиться; взамен этого некоторые части стекла начинают испускать красивый зеленый свет. Для наблюдения явлений при чрезвычайно малых давлениях обыкновенно служат особые стеклянные приборы, устройство которых сложнее, чем описанных выше трубок; давление газа в них измеряется лишь тысячными долями миллиметра или миллионными долями атмосферы (род газа здесь не имеет значения, так как самый газ при этом почти не светится).

Теперь электроны, выбрасываемые металлической пластинкой, насаженной на отрицательный полюс, заполняют собою всю длину трубки: они несутся в ней прямолинейным потоком, приблизительно перпендикулярно пластинке. Так как отрицательный полюс иначе называется катодом, то и самый поток называется «катодным потоком»; впрочем, чаще говорят катодные лучи. Вот несколько наблюдающихся при этом явлений.

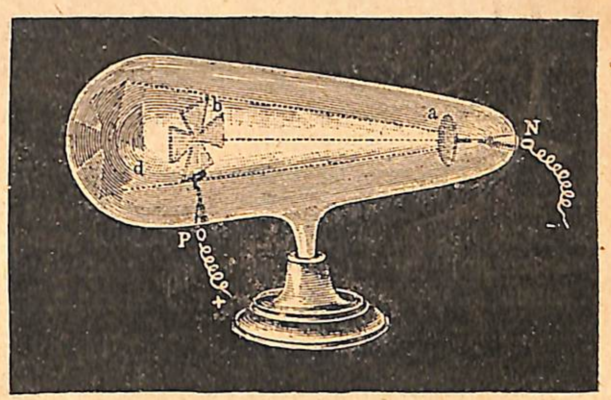


Рис. 402. Катодные лучи — прямолинейность их распространения.

Прямолинейность распространения катодных лучей очень явственно обнаруживается в приборе (рис. 402). В нем *a* — катодная пластинка, *b* — крест из листового алюминия, который сообщается с положительным полюсом (анодом) источника и который прикреплен к стенке прибора подвижно, так что при наклонении последнего может быть опрокинут. Катодные лучи, распространяясь от *a* слегка расходящимся пучком и ударяя в стеклянные стенки, заставляют их светиться во всех местах, кроме того, которое заслонено крестом: здесь получается хорошо очерченная «тень» креста. Лишь только крест будет опрокинут наклонением прибора, тень опять исчезает.

Цвет свечения стекла, подверженного ударам электронов, зависит от его состава. Множество других веществ светятся под действием катодного потока. Для опытов служит, например,

изображенный на рис. 403 прибор, толстые пластинки которого N и P соединены с аппаратом, доставляющим электрические разряды, а внизу помещается вещество, подвергаемое действию потока. Рубин, например, светится великолепным красным цветом.

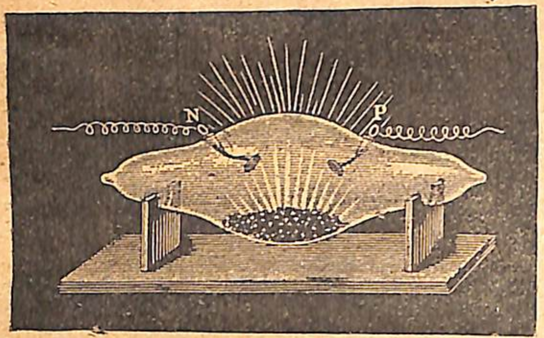


Рис. 403. Катодные лучи — свечение минералов.

Катодный поток приводит в движение легкие тела, подвижно установленные в трубке, например, род мельничного колеса со слюдяными крыльями, могущего катиться вдоль пары стеклянных рельсов (рис. 404).

Катодный поток сильно нагревает тела, на которые падает. Например, стекло прибора, подверженное его действию, становится теплым или горячим и даже может, в случае достаточно сильного потока, размягчаться настолько, что стенка прибора вдавливается внутрь. Особенно сильно нагревание тогда, когда катодный поток сосредоточивают

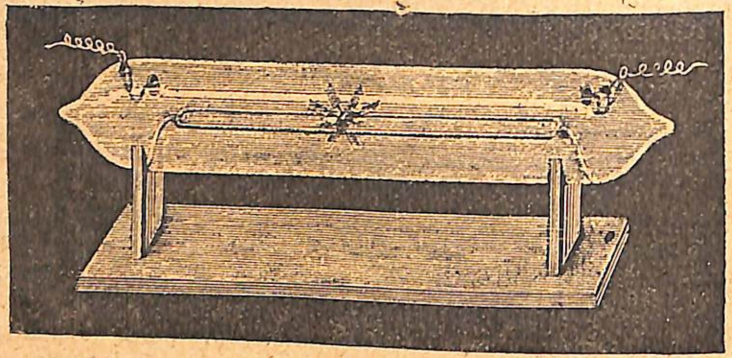


Рис. 404. Катодные лучи — движущееся колесо со слюдяными крыльями.

на небольшом пространстве, придавая катодной пластинке форму вогнутого сферического зеркала (рис. 405). Помещенная в фокусе этого зеркала платиновая пластинка может накалиться добела и расплавиться.

Все это, в особенности сильное развитие теплоты, указывает на значительную энергию, свойственную катодному потоку. И немудрено. Хотя электроны чрезвычайно малы, энергия их очень велика, потому что они несутся в приборе с огромной быстротой, какой мы даже отдаленно не встречаем ни при каких движениях тел в обычном смысле слова. В случае очень сильных электрических напряжений на полюсах прибора скорость частиц катодного потока может достигать почти что половины скорости света, т. е. около 150 тысяч километров в секунду.



Рис. 405. Катодные лучи — накаливание платины.

Так как частички катодного потока — частички отрицательного электричества, то они заряжают отрицательно тела, на которые падают. Поднесенный же к потоку магнит отклоняет их от прямолинейного пути (рис. 406). Этого можно было ожидать: ведь движущаяся электрическая частица представляет собою электрический ток и производит вокруг себя магнитное поле, на которое и должно так или иначе действовать силовое поле магнита. (Срав. § 321) [1].

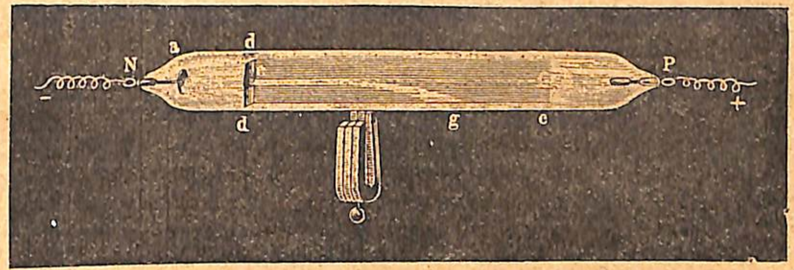


Рис. 406. Катодные лучи — отклонение их магнитом.

[1]) Электроны выбрасываются также поверхностями сильно распыленных тел, в частности — поверхностью солнца. Достигая земной атмосферы, они вызывают свечение сильно разреженных верхних ее слоев. А под действием земного магнитизма эти электронные потоки различным образом изгибаются и перемещаются. Так ныне по электронной теории объясняют себе происхождение полярных сияний.

III. Рентгеновы лучи.

376. Та часть стеклянных стенок прибора, которая подвергается «бомбардировке» электронов и светится, является местом, от которого в окружающей среде распространяются колебания такого же характера, как «световые», т.-е. электромагнитные волны, но еще гораздо большей быстроты (частоты), нежели те, которые воспринимаются нами, как свет. Для усиления действия устройство прибора более или менее усложняется. Например, катодный поток (на рис. 407 катодная пластинка прикреплена к проволоке a) направляют на платиновую пластинку d (так называемый антикатод, т. е. «противо-катод»), который и служит местом возбуждения необычайно быстрых электромагнитных колебаний, распространяющихся из прибора вниз. Это те колебания или волны, которые образуют собою столь известные Рентгеновы лучи. Покрыв прибор непрозрачной темной материей, можно совсем скрыть его от глаза. И тогда почти в полной темноте вблизи прибора наблюдается ряд любопытнейших явлений: экран, покрытый некоторыми флуоресцирующими веществами, начинает светиться, светочувствительный слой фотографической пластинки — выделять серебро. Различные тела в очень различной степени задерживают распространение Рентгеновых лучей; вообще же эти лучи отличаются чрезвычайно большой проницающей способностью и легко проходят чрез такие тела, которые очень мало прозрачны для видимых лучей, например, сквозь папку, дерево, кожу, вообще сквозь ткани животного организма, а также сквозь некоторые металлы, например, алюминий; менее проницаемы обыкновенное стекло, графит, кость; тяжелые металлы, например, свинец, очень мало проницаемы для Рентгеновых лучей.

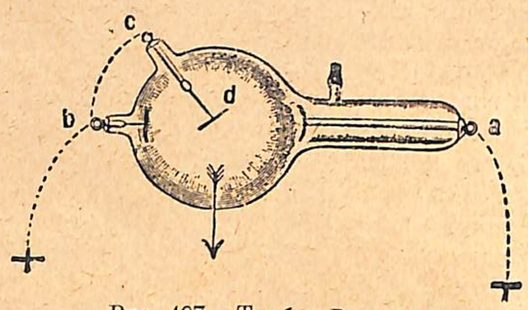
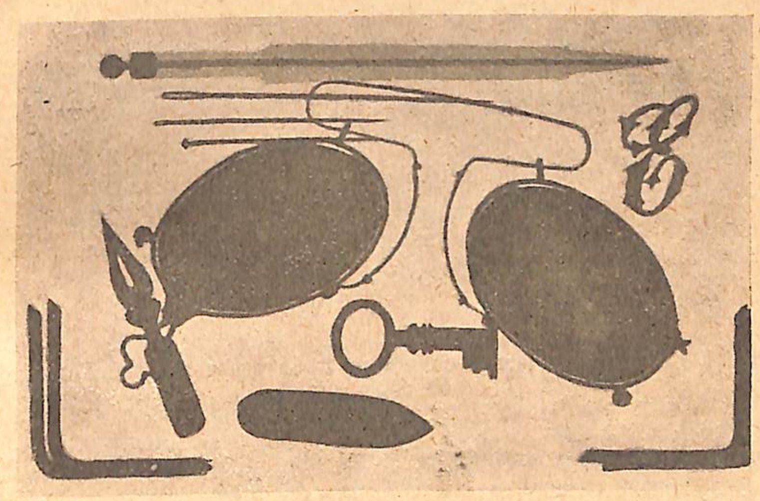


Рис. 407. Трубка Рентгена.

Если на пути Рентгеновых лучей, перед флуоресцирующим экраном, держать разные предметы, то на экране получаются теневые изображения тех из них, которые менее проницаемы для лучей, потому что соответствующие им места экрана не будут флуоресцировать или будут светиться слабее. Так как Рентгеновы лучи действуют на фотографическую пластинку, то подоб-

ные изображения можно и фотографировать. Рис. 408 дает некоторое понятие о различной проницаемости тел для Рентгеновых лучей. Он представляет фотографический снимок, полученный при проходе лучей сквозь кожаный бумажник: все содержимое его становится тогда видимым. Металлические предметы (оправа бумажника, перо, ключик, иголки, вензель и пр.), а также стекла пенснэ [1]), как мало проницаемые, дали на снимке черные теневые изображения; изображение менее темное получилось от


Рис. 408. Фотографический снимок, полученный при прохождении рентгеновых лучей сквозь кожаный бумажник.

графитовой сердцевины карандаша, тогда как очертания деревянной его части, гораздо более проницаемой, едва заметны. В особенности замечательна возможность получения таким путем изображений внутренних частей живого организма, так как они в различной степени проницаемы для Рентгеновых лучей. На рис. 409 можно видеть фотографический снимок руки (с надетым на палец кольцом), на котором хорошо заметны отдельные кости скелета и промежутки, соответствующие сочленениям; мышцы (мясо) дают слабые очертания. Большое и все расширяющееся поле применений нашли эти приемы в медицине —

[1]) Обыкновенное стекло все же довольно прозрачно для Рентгеновых лучей; на снимке оно вышло бы не столь темным.

для исследования внутренних частей живого человеческого организма [1]).

В недавнее время с помощью Рентгеновых лучей удалось, пронизывая ими некоторые кристаллические тела, с неожиданностью раскрыть картину внутреннего строения кристаллов и подтвердить то, о чем можно было раньше лишь догадываться на основании теоретических соображений и вычислений.

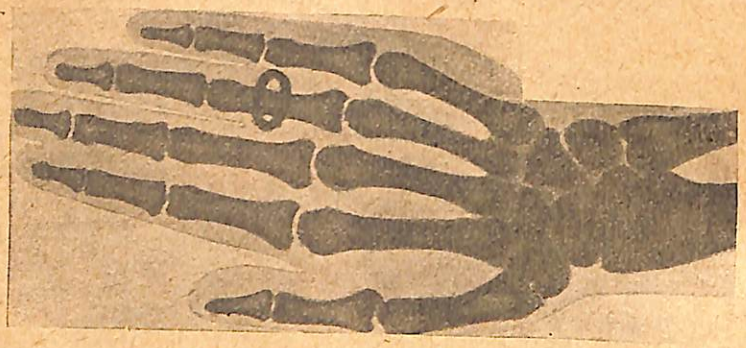


Рис. 409. Фотографический снимок руки, полученный при действии Рентгеновых лучей.

Колебания, соответствующие наиболее коротким Рентгеновым волнам, приблизительно в 100.000 раз быстрее или чаще «световых». В шкале электромагнитных волн (§ 359) эта область волн составляет ныне примерно $7^1/_2$ октав.

IV. Радиоактивный распад атомов. Радий.

377. Электроны выбрасываются из недр атомов не только под влиянием сильных электрических напряжений или высокой температуры, о чем было упомянуто выше, но еще и в других случаях. Особенно же замечательно самопроизвольное выбрасывание их некоторыми веществами, атомы которых мало-по-малу разрушаются, распадаются, при чем атомы одного простого вещества преобразовываются в атомы другого. Еще очень недавно простые вещества, числом около 90, выделенные из множества

[1]) Для многих из вышеописанных опытов достаточно разрядов от хорошей электрофорной машины (§ 299). Но в более эффектном виде они производятся с помощью индукционной катушки.

других бесчисленными химическими исследованиями, считались большинством ученых последними «элементами» химических соединений, не превратимыми одно в другое. Ныне это учение оставлено в виду того, что с несомненностью доказано превращение по крайней мере некоторых элементарных веществ друг в друга. Открыто 3—4 десятка таких простых веществ, которые являются продуктами распада атомов других и в свою очередь распадаются, так что трудно отказаться от мысли, что и многие другие «простые» тела находятся в процессе распада, который происходит лишь настолько медленно, что его еще не удалось заметить. Радий — то простое вещество, распад атомов которого сопровождается особенно бьющими в глаза явлениями и свойства которого произвели замечательный переворот в учении об элементах. При описании свойств этого «революционера» в области физических наук мы должны ограничиться очень немногим, так как для сколько-нибудь полного понимания явлений, связанных с его образованием и распадом, требуется гораздо больше познаний из области химии, физики и математики, чем можно предполагать у читателя этой книги.

Распад атомов радия представляют примерно так. Некоторые из составных частей атома, движущиеся наиболее быстро, выбрасываются наружу, так что атом становится уже не тем, чем был раньше. Выбрасываются именно отрицательные электроны и частицы вещества, образующего материальное ядро атома, — частицы гелия, заряженные положительно. Те и другие вылетают во все стороны по прямолинейным направлениям, вследствие чего потоки частиц получили и здесь название лучей. Их общепринято обозначать начальными буквами греческого алфавита: потоки частиц гелия называются лучами α (альфа), а потоки электронов лучами β (бета). Скорость, с какою они вылетают из атомов, громадна: для α-лучей она определена в 10 — 20 тысяч километров в секунду, а скорость β-лучей в известных случаях достигает скорости света... Благодаря именно исключительным скоростям и, следовательно, значительной кинетической энергии потоков [1]), а также их электрическим зарядам, удалось не только обнаружить существование этих малейших частичек, не только сосчитать их, но проследить движение чуть не каждой отдельной

[1]) Заметим, что если скорость тела увеличивается в 2, 3, 4... раз, то энергия его движения, или кинетическая энергия, увеличивается в 4, 9, 16... раз: она пропорциональна квадрату скорости. Скорость молекул газа вообще недалека от 1 км в секунду; при скорости в 20.000 раз большей, какая именно достигается α-частицами, кинетическая энергия такого же тельца, как молекула, — была бы больше в 20.000, т.-е. в 400 миллионов раз.

частички — даже отметить ее путь посредством фотографического снимка... Все это дало новую твердую опору тому молекулярно-кинетическому учению о строении вещества, которым уже давно пользовались в науке, но больше основывались на вероятных догадках, чем на очевидных фактах.

378. Особенно наглядно и красиво обнаруживается выбрасывание атомами радия α-лучей, т.-е. положительно наэлектризованных частичек гелия. Устроенный для наблюдения этого прибор, так называемый спинтарископ (рис. 410), состоит из медной трубки с передвигающейся у одного ее конца двойной лупой *L*; против донышка противоположного конца, на остроконечии тонкого шпенька *R*, помещается ничтожная крупинка радиевого соединения, а на внутренней стороне самого донышка (*E*) — немного вещества, которое под влиянием ударов α-частиц светится. Смотря в лупу, можно видеть, как вещество на донышке прибора искрится, не переставая, множеством звездочек, напоминающих собою, пожалуй, часть звездного неба в темную ночь, но только оживляемую непрерывным движением. Усовершенствованными приемами наблюдения удалось сосчитать число выбрасываемых при этом α-частичек. Можно принять, что оно, в расчете на 1 г радия, составляет около биллиона в каждые полминуты... Судя по некоторым опытам и расчетам, явление в почти неизменном виде должно продолжаться целые столетия, потому что атомы радия распадаются очень медленно только примерно через 2000 лет количество их уменьшится наполовину.

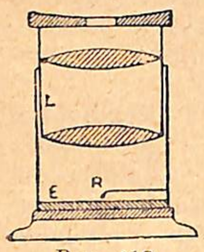
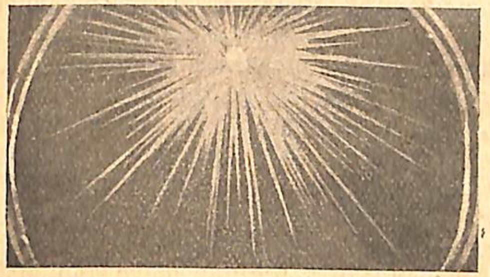


Рис. 410. Спинтарископ.

Сфотографировать следы движения α-частиц в воздухе удалось следующим путем. Под ударами этих частиц молекулы воздуха известным образом изменяются, так что приобретают способность сгущать вокруг себя влагу, если воздух насыщен водяными парами, и образовать, таким образом, тельца большей величины. При сильном мгновенном освещении их изображения запечатлеваются на фотографической пластинке: получаются следы прямолинейно несущихся частиц. (См. рис. 411 и 412; на последнем концы путей как бы подломлены — конечно, вследствие ударов частиц об атомы.)

379. Электрические составные части атома радия производят то, что распадающийся атом является длительным источником электричества. Это хорошо обнаруживается приборчиком (рис. 413), в котором несколько миллиграммов радиевой соли заключено в изолированную на кварцевой нити *B*

трубочку *A*, с подвешенными к ней двумя тонкими золотыми листочками, как в электроскопе; самая трубочка находится внутри стеклянного сосуда с сильно разреженным воздухом. Листочки, наэлектризовываясь, понемногу расходятся и, коснувшись оловянной фольги на внутренней стенке сосуда, отдают свой заряд (фольга сообщается с землею), после чего явление повторяется заново. Вот своего рода часы (они и названы были «радиевыми часами»), которые, если бы не изнашивались, могли бы без вся-



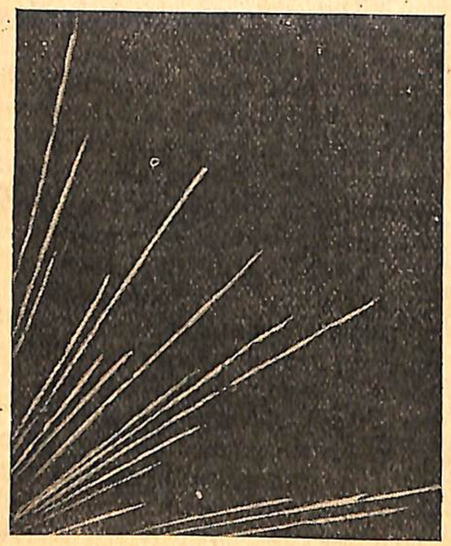


Рис. 411 и 412. Пути α-частиц.

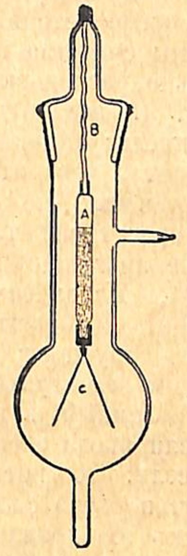


Рис. 413. «Радиевы часы».

кого завода извне итти по меньшей мере тысячу лет, хотя и постепенно замедляясь... [1]).

380. Быстрое движение составных частей атома радия, которым сопровождается его распад, является длительным источником

[1]) Любопытно, что при надлежащих приспособлениях удается электроскопически обнаружить заряд каждой отдельной α- или β-частицы, что, между прочим, тоже применяется для их сосчитывания.

теплоты. Найдено, что температура радиевой соли всегда немного выше, чем окружающего воздуха. Один грамм радия развивает в течение часа 134 грамм-калорий, т.-е. такое количество теплоты, которое могло бы нагреть 134 *г* воды на 1° Ц. Само по себе это число кажется незначительным; но надо иметь в виду, что атомы радия распадаются чрезвычайно медленно: как упомянуто выше, примерно через два тысячелетия половина всего его количества превращается в другое вещество[1]). Все количество теплоты, которое могло бы быть доставлено 1 граммом радия, т.-е. при полном его распаде, соответствует 3 миллиардам малых (*г*-)калорий, или 3 миллионам больших (*кг*) калорий: столько теплоты развивается при сгорании примерно 500 килограммов, т.-е. 30 пудов каменного угля. Энергии, запасенной в десятке фунтов радия, было бы достаточно, чтобы переправить океанское судно из Европы в Америку... Можно себе представить, какие новые и обильные источники энергии открылись бы нам, если бы были найдены средства по произволу ускорять распад радия и, следовательно, расходовать доставляемую им энергию в более короткое время. Но все попытки в этом направлении пока еще ни к чему не привели: никакими химическими и физическими воздействиями не удается ускорить процесса распада, который совершается сам собою, нимало не сообразуясь с физико-химическими условиями, с которыми мы так привыкли связывать все известные нам доныне превращения вещества...

381. Из других любопытных явлений упомянем еще о следующем. Выбрасываемые радием наэлектризованные частицы делают окружающий воздух настолько хорошим проводником электричества, что заряженный проводник, тщательно изолированный, в нем более или менее быстро разряжается.

Если около электроскопа держать несколько крупинок радиевой соли, то нет возможности удержать заряд электроскопа: листочки скоро спадутся. То, что воздух становится проводящим, объясняется появлением в нем в бо́льшем числе, чем обыкновенно, наэлектризованных молекул кислорода и азота, которые именно, перемещаясь, уносят электрические заряды. Такие заряженные молекулы называются газовыми ионами (положительными или отрицательными), а самый процесс их образования — ионизацией. Ни в какие подробности мы здесь входить не можем. Любопытно только заметить, что электроскоп, с некоторыми усовершенствованиями против обычных приборов, позволяет заметить самомалейшую ионизацию воздуха — присутствие каких-

[1]) В течение года распадается примерно $^1/_{2500}$ доля радия.

нибудь 20 ионизованных молекул в кубическом сантиметре. И это на триллионы молекул, содержащихся в таком объеме воздуха. Немудрено, что количество радия, которое еще удается обнаружить электроскопическим путем, можно считать невесомым при наших средствах взвешивания: биллионная доля грамма радия не ускользает от внимания наблюдателя... В отношении «чувствительности» этот прием далеко оставляет за собой спектроскопический (§ 271). Кажется уже некуда итти дальше в деле распознавания малейших количеств вещества...

382. Кроме потоков α и β-частиц, атомы радия испускают еще настоящие лучи, т.-е. электромагнитные волны, а именно волны чрезвычайно большой частоты, подобные тем, кото-

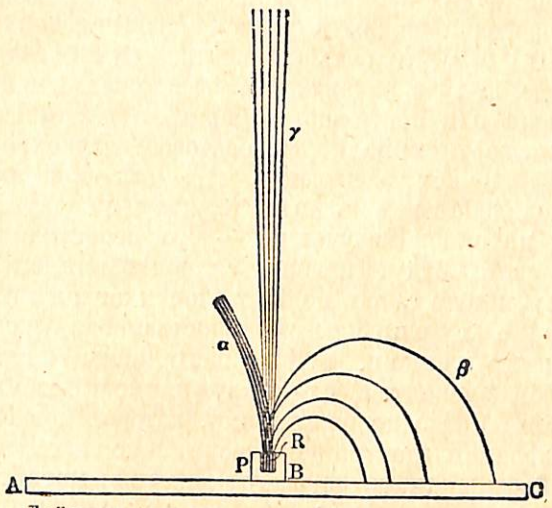


Рис. 414. Действие сильного магнитного поля на α, β и γ-лучи

рые соответствуют Рентгеновым лучам. Они называются лучами γ («гамма» — третья буква греческого алфавита) и возникают вследствие бомбардировки атомов ударами электронов (как и в приборах для получения Рентгеновых лучей). Тогда как α- и β-частицы уклоняются от своего пути магнитным и электрическим действиями, лучи γ на них не отзываются точно так же, как на них не отозвались бы световые лучи. Рис. 414 схематически показывает разницу в действии на лучи α, β и γ сильного магнитного поля и, вместе с тем, поясняет один из способов, какими могут быть отделены друг от друга эти лучи разного рода. Радий помещен в углублении, сделанном в куске свинца *P* (достаточно толстый слой свинца не пропускает радиевых излучений). Оттуда выходит прямолинейный слегка рас-

*

ходящийся пучок. Радий подвергают действию сильного электромагнита (полюсы его расположены определенным образом относительно плоскости чертежа, что на рис. не показано). Тогда три группы лучей радия разделяются. Лучи γ (соответствующие Рентгеновым) продолжают путь без малейшего отклонения. Лучи β (потоки отрицательных электронов) отклоняются подобно катодным, описывая круговые пути, так что могут достичь подставки AC; если они попадут здесь на фотографическую пластинку, то оставят на ней след своего действия. Наконец, лучи α (положительно заряженные атомы гелия) отклоняются в противоположную сторону по сравнению с электронами (§ 373) и притом гораздо слабее, так как они, если можно так выразиться, гораздо грузнее (массивнее) последних — примерно в 1800 раз. Если отверстие свинцовой коробочки покрыть тонкой алюминиевой пластинкой (толщиной в 0,1 *мм*), то большая часть α-лучей задерживается, поглощается ею, β-лучи задерживаются в гораздо меньшей мере, а лучи γ сполна или почти сполна проходят сквозь нее.

383. Мы уже упоминали, что световое излучение атома идет от движущихся в нем электронов. Но так как их движение изменяется под действием магнита, то можно ожидать, что последнее скажется на самом излучении, — что свойства посылаемого электронами света будут изменяться под влиянием магнитного поля. И в самом деле такое действие магнитного поля на световые лучи с несомненностью обнаружено опытами: например, спектр пламени, содержащего пары натрия, замечательным образом изменяется, если вокруг пламени возбудить сильное магнитное поле. Вот одно из явлений, которое можно было предвидеть на основании электронной теории, но которой вы, читатель, пожалуй, ожидали менее всего: действие магнита на свет.

384. Внешность обычных солей радия, этого чудодея в области физики и химии, не представляет ничего особенного: обыкновенного вида кристаллические вещества, сперва белого цвета, но с течением времени окрашивающиеся. Из солей получен и чистый металлический радий—серебристо-белый металл, очень легко изменяющийся в воздухе и при соприкосновении со многими веществами.

Соли радия слабо светятся в темноте (флуоресцируют) под действием радиевых излучений. Гораздо сильнее светится от них тот щит, который обыкновенно служит для обнаружения Рентгеновых лучей (§ 376). Притом почти все равно, будет ли радиевая соль в свинцовой коробочке открыта или покрыта слюдой, папкой, тонкой дощечкой или алюминиевой пластинкой; только достаточно толстый слой свинца уничтожает действие. О влиянии на фотографическую пластинку мы уже упоминали: можно получать такие же «теневые» снимки предметов, как помощью Рентгеновых лучей, но хуже очерченные.

Из многих чудес, являемых радием, нельзя не упомянуть еще одного: его излучения, проникая сквозь многие «непрозрачные» тела, способны возбуждать зрительные центры нашего головного мозга сквозь кости черепа, совершенно помимо наружных частей органа зрения—глаз. Если вы в темноте, плотно обвязав глаза несколькими оборотами полотенца, станете подносить к голове с разных сторон препарат радия, то получите впечатление окружающего вас неопределенного сияния, как бы зарева отдаленного пожара. Правильно или нет, но были даже высказаны надежды сделать этим путем зрячими тех слепых, у которых слепота зависит не от повреждений в мозгу или зрительных нервах.

385. Но пора ответить на вопрос: во что превращается радий при распаде его атомов? Об этом можно здесь сказать лишь в самых общих чертах. Выбрасывая α-частицы, радий превращается прежде всего в газообразное вещество, названное эманацией радия или нитоном. Это вещество, опять-таки лишаясь α-частиц, переходит в новое, которое снова превращается — пока после целого ряда превращений (при которых в отдельных случаях выбрасываются и β-частицы, электроны)—не получится всем известное простое вещество, свинец, которое, повидимому, уже не подвергается дальнейшему распаду. Но пусть не подумают, что, имея в руках препарат радия и подождав некоторое время, мы так-таки и получим вместо радия свинец... Ряд превращений, о которых здесь упомянуто, совершается в общем очень медленно. Так приблизительно в 1800 лет радий распадается наполовину; эманация радия, напротив, распадается сравнительно быстро: половина его превращается почти в четверо суток; из дальнейших продуктов некоторые распадаются до половины в малые доли секунды, другие — в течение минут, суток и годов. Надо еще заметить, что количество радия, с которым исследователям удавалось производить опыты, до обидности ничтожно: все запасы радия, которые были добыты со времени его открытия в 1898 году (французским физиком Кюри и его супругой, полькой, урожденной Складовской) и которые распределены по множеству учреждений, конечно, не составляют еще и сотни граммов, т.-е. четверти фунта. Немудрено, что исследования с ничтожными количествами материала требуют необыкновенно тонких приспособлений и совершенно исключительного внимания. (Так нарочно для них были построены весы настолько чувствительные, что на них можно было обнаруживать перевес в миллионные доли миллиграмма.) Свинец, как окончательный продукт превращений радия, ни у кого

еще не был в руках: образование его упомянутым путем пока только догадка, правда, очень вероятная.

А откуда взялся самый радий? Он также чрез целый ряд промежуточных продуктов «радиоактивного распада» образовался из другого простого вещества, называемого ураном. Но на образование из него радия потребовались не сотни и не тысячи, а, вероятно, миллиарды лет...

386. Вот еще некоторые любопытные свойства радия, объясняющиеся большой энергией выбрасываемых его атомами частичек. На живые органические ткани, например, на нашу кожу, он действует сильно разрушительно: сперва производит красноту, а при более продолжительном действии — трудно залечиваемые раны. Один видный французский исследователь радиоактивных явлений, едучи за границу для сообщения по предмету своих изысканий, продержал стеклянную трубочку с драгоценным препаратом в жилетном кармане и поплатился за это гноящейся язвой, от которой ему нескоро удалось избавиться. Его соотечественник, тоже выдающийся деятель в этой области (упомянутый выше Кюри), испытав неприятные действия радия, говорил, что не решился бы подойти к куску радия величиной с кулак. Отмечены тяжелые жертвы недостаточно осмотрительного обращения с препаратом радия. Но эти его свойства, с другой стороны, были успешно применены для уничтожения зловредных образований на живых тканях, например, для лечения раковых опухолей. Стекло и фарфор окрашиваются бурым или голубым цветом. Изменяются и многие другие вещества. Алмаз в темноте светится (что, между прочим, позволяет отличать настоящий от поддельного). Органические вещества, медленно истлевающие, например, бумага становится бурой и ломкой. Вода разлагается на водород и кислород. Ограничиваемся этими примерами.

387. Явления радиоактивности, хотя и менее резко выраженные, повторяются, как упомянуто выше, на 3 — 4 десятках простых веществ. Внимательный читатель будет прав, если спросит: какие же это «простые» вещества, если они способны распадаться на другие? И что же тогда считать простым, элементарным веществом? Да, характеристика «простого вещества» с открытием радиоактивного распада очень усложнилась; но здесь нет никакой возможности распространяться на эту тему, связанную с очень тонкими вопросами теоретической химии.

Интерес, возбужденный радиоактивными веществами, и жажда их исследования, пожалуй, еще усиливаются тем, что радиоактивные вещества, хотя и очень распространены в природе, встречаются везде лишь в малейших количествах. Это очень затрудняет и удорожает их добывание. Например, из тонны радионосной

руды получают после длинного ряда переработок несколько десятых долей грамма радиевой соли. Неудивительно, что при большом спросе на радий цена его исключительно высока. Незадолго до войны 1 миллиграмм радия стоил около 300 рублей; в расчете на 1 грамм это выходит около 300.000 рублей, а на золотник — свыше 1.200.000 рублей, т.-е. в 200.000 раз дороже золота.

388. Эманации, т.-е. газообразные продукты распада радиоактивных веществ, в свою очередь распадающиеся, повсюду содержатся в воздухе. Особенно усиленно «выдыхает» их почва при понижении атмосферного давления. Из более глубоких подземных слоев эманация попадает в воздух чрез посредство источников. Здесь, повидимому, разгадка стародавнего вопроса о целебности некоторых из них. В случаях, когда в источниках не содержалось значительного количества солей или газов, или они не имели высокой температуры, их чудодейственную способность охотно приписывали следам золота или других редких примесей. Рука об руку с этим распространялась вера в облагораживание их легендарными событиями. В позднейшие времена пытались давать новые толкования, например, приписывали целительное действие электрическим силам. Но лишь сравнительно недавно найдено удовлетворительное объяснение, хотя еще и не окончательно признанное, но уже имеющее прочную почву, именно, что целебность зависит от содержания радиоактивной эманации. Как не припомнить здесь того давно известного обстоятельства, что целебное действие источников — чисто местное и что «искусственные воды» даже очень точно химически подделанные, не оказывают того же действия, равно как и натуральные, привезенные с места в бутылках. Ведь искусственная минеральная вода именно и отличается от натуральной отсутствием эманации, а самая эманация натурального источника очень недолговечна.

389. Как видно из этого краткого описания, хотя про радий в повседневной печати рассказывалось много чудес (и много вздора), в действительности, при сколько-нибудь близком знакомстве, он их представляет еще больше. Явления радиоактивности деятельно изучаются во множестве лабораторий, породили огромную литературу и бывают предметом обсуждения целых ученых обществ и съездов, так что в этой завлекательной области можно ожидать еще немало новых открытий.

В заключение вот несколько строк из книги о радии, написанных одним выдающимся английским ученым Содди: «На глазах только что начавшегося столетия был сделан определенный и значительный шаг по пути исследования конечной природы атомов,

этих единиц вещества, — шаг, который представляет не расширение существующих знаний или начал, а совершенно новое начинание. Радиоактивность является предметом новой первичной науки, не подчиненной ни физике, ни химии в том виде, как понимались эти науки до открытия радиоактивности: она касается знания элементарных атомов самих по себе, знания такого глубокого и тонкого, что старых законов физики и химии, касавшихся почти исключительно внешних отношений, стало недостаточно. И этот первый шаг даже подчеркнул, как в самом деле поверхностно было наше знание вещества. Если бы кто-нибудь доказал архитектору, что те кирпичи, которые он обычным образом употребляет в своих сооружениях, при других условиях могут найти совершенно иное применение, например, что их можно было бы употребить в качестве взрывчатого вещества, несравненно более сильного, чем динамит, то удивление архитектора не превзошло бы удивления химика при виде новых, никогда ему не снившихся родов вещества»...

V. Обзор.

390. В одном кубическом сантиметре газа при температуре 0° и давлении 760 мм ртутного столба содержится около 27 триллионов молекул. Диаметр молекулы составляет несколько десятимиллионных долей миллиметра. Молекулы находятся в непрерывном движении. Это с полной ясностью обнаруживается в так называемом «Броуновском движении» мелких частиц, погруженных в жидкую среду и движущихся под действием ударов молекул жидкости.

Атомы, из которых составляются молекулы, представляют, по воззрениям современной науки, также сложные образования. Атом состоит из положительно наэлектризованного ядра, около которого движутся отрицательно заряженные частицы—электроны. Диаметр электрона в сотни тысяч раз меньше диаметра атома. Электроны движутся с громадной скоростью, достигающей в иных случаях скорости света (300.000 *км* в сек.). Колебания электронов дают в окружающей среде электромагнитные волны, воспринимаемые нами, как свет.

Поток электронов можно создать при электрических разрядах сквозь сильно разреженные газы. Если взять трубку с газом, разреженным в малой степени (давление несколько миллиметров ртутного столба) и через впаянные у концов проволоки пропускать электрический ток от электрофорной машины или индукционной катушки, то находящийся в трубке газ светится (разные газы дают различные спектры).

При электрическом разряде через газ, имеющий давление в тысячные доли миллиметра, свечение газа в трубке уже не наблюдается, но создается прямолинейный катодный поток из электронов — катодные лучи. Последние на пути своего распространения заставляют светиться стекло трубки и многие другие вещества каждое ему свойственным характерным цветом; дают тень, подобно световым лучам, приводят в движение легкие подвижно установленные в трубке тела; сильно нагревают поверхности, на которые падают; наконец, отклоняются под влиянием магнита от прямолинейного пути.

Катодные лучи при ударе о стенки трубки или специально поставленную на их пути пластинку (антикатод) дают начало известным Рентгеновым лучам. Эти лучи вызывают свечение некоторых флуоресцирующих веществ и действуют на фотографическую пластинку. Лучи Рентгена легко проходят через такие тела, которые очень мало прозрачны для видимых лучей — папку, дерево, кожу, алюминий, но задерживаются тяжелыми металлами, например, свинцом.

Лучи Рентгена по своей природе подобны световым лучам. Здесь мы имеем дело также с электромагнитными волнами, но значительно более короткими, чем световые.

Электроны выделяются атомами не только под влиянием сильных электрических напряжений, но и под воздействием высокой температуры. Они выбрасываются также и, так называемыми, радиоактивными веществами, из которых особенно замечателен радий. Радий испускает троякого рода лучи: альфа-лучи, бета-лучи и гамма-лучи. Лучи альфа — это заряженные положительно частицы гелия, обладающие в момент вылета скоростью в 10—20 тысяч километров в секунду. Под влиянием магнитных и электрических действий они уклоняются от своего пути в сторону, противоположную той, в которую происходит отклонение электронов. Лучи бета—это потоки электронов. Лучи гамма представляют электромагнитные волны чрезвычайно большой частоты (малой длины), подобные тем, которые мы находим в Рентгеновых лучах. Магнитные и электрические силы на них не действуют.

Под ударами вылетающих α и β-частиц молекулы воздуха, насыщенного водяными парами, приобретают способность сгущать вокруг себя влагу, что позволяет сфотографировать пути движения α и β-частиц.

Температура радия всегда несколько выше температуры окружающего пространства: 1 грамм радия в течение часа развивает 134 малых калорий тепла.

Выбрасываемые радием наэлектризованные частицы делают окружающий воздух хорошим проводником электричества, ионизи-

руют его. Электроскоп дает возможность обнаружить малейшие следы ионизации воздуха, а вместе с тем и наличие ничтожнейших количеств (биллионная доля грамма) радия. Этот прием по своей чувствительности далеко оставляет за собой такой чувствительный метод, как спектроскопический.

Лучи радия, подобно Рентгеновым лучам, вызывают свечение некоторых флуоресцирующих веществ и действуют на фотографическую пластинку. Они проникают через папку, дерево, алюминий, но задерживаются свинцом.

Непрерывный распад атомов радия ведет к образованию новых веществ. (Примерно через два тысячелетия половина всего его количества превращается в другие вещества.) Прежде всего радий превращается в газообразное вещество, называемое эманацией радия, или нитоном. Затем идет длинный ряд других превращений и в окончательном итоге получается свинец.

Сам радий образуется путем длительных превращений из урана.

Радиоактивные вещества очень распространены в природе, но встречаются везде лишь в малейших количествах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

О цели и средствах физического исследования природы, о связи научного и прикладного знания и об отношении физики к высшим запросам человеческого духа.

391. Цель физики—раскрывать взаимную связь явлений природы на основании разностороннего и точного их наблюдения. Главным ее средством служат научно-обставленные опыты, выводы из них и проверка выводов новыми опытами. Правда, многому научает нас уже внимательное наблюдение того, что происходит в природе помимо нашей воли [1]. Но «опыт» производится нами в обстановке, которой мы сами же и распоряжаемся; мы, конечно, лучше можем подметить, от каких именно «обстоятельств» или «условий» зависит интересующее нас явление, когда мы вмешиваемся в его ход — «пробуем», что выйдет при устранении одних условий и введении других. Научный опыт—как бы вопрос, задаваемый нами природе; на правильно поставленный вопрос всегда можно ожидать от нее определенного ответа. Но «правильно ставить вопросы природе» — дело нелегкое; опыты, производимые испытателями природы, открывающими новое, — не то, что наши простые первоначальные опыты, имеющие лишь целью сделать понятным и наглядным уже давно известное. В редких случаях нам приходилось измерять величины, которых касается опыт, например, протяжение, вес и пр.; напротив, научный физический опыт редко обходится без измерения величин: отсюда тесная связь физического исследования с математикой, без

[1]) Примером служит в особенности учение о движении небесных тел — та часть астрономии, которая называется небесной механикой; основной материал ее, конечно, не может быть предметом опыта.

которой мы почти вполне обходились. Измерение именно раскрывает те правильности в ходе явлений и зависимости их друг от друга, которые называются **физическими законами.** Знанием законов ученый пользуется для предвидения, предсказывания того, что произойдет, если имеются налицо известные условия, и этим путем приходит к новым «открытиям», а техник так подбирает и сочетает уже изученные явления, чтобы произошло что-либо полезное для практических целей: вот секрет **изобретения.**

На этом стоит еще немного остановиться. Благодаря физическому исследованию природы, мы научились передвигаться по рельсам со скоростью бури, научились плавать под поверхностью океана и летать, мы можем видеть сквозь «непрозрачные» тела, например, внутренности живого организма, мы могли бы различить большое здание на луне, если бы оно там было, а не сегодня-завтра научимся видеть, что происходит по ту сторону земного шара... Не вспоминаются ли вам тут некоторые «сказочные выдумки» наших предков, ставшие подлинной действительностью? Заинтересовавшись тем немногим, о чем было сказано в этой книге, читатель, быть может, захочет большего, и это будет лучшим вознаграждением для автора; но последний вынужден поставить здесь точку и отослать читателя к книгам, посвященным практическим приложениям. Многому еще надо поучиться, чтобы понимать их, как следует, особенно в области электричества. То, что вы здесь «узнали», годно лишь на первый случай, чтобы не быть круглым невеждой среди рвущейся вперед жизни. Настоящее знание и понимание приобретается лишь большим трудом; но зато вкусивший его, хотя бы частями, может найти в нем такое удовлетворение, какого ему не дадут никакие блага мирские...

Тот, кого больше всего интересуют приложения науки к практике, не может не видеть, как открытия, особенно в области электричества, ныне властно преобразовывают человеческую жизнь. Едва ли нужно, например, особо подчеркивать все значение хорошего и общедоступного вечернего освещения. Удлиняя деятельную часть суток и поддерживая бодрое настроение вечером, оно, вместе с тем, широко открывает двери чтению и умственной работе в часы вечернего досуга, а, следовательно, распространению знаний. Поневоле позавидуешь в этом отношении Швейцарии, где чуть не каждая деревня освещена лучше, чем многие города остальной Европы. А доставка дешевой механической энергии по электрическим проводам? Как много она делает для облегчения сношений между людьми, насколько она может смягчить труд ремесленника, приводя в движение его станки и машины!

Удешевление применимых источников энергии, как мы видим, очередной вопрос современной техники, и здесь немало уже сделано изобретениями в области электричества, открывшими столь широкое поле для использования энергии текущих вод, которая до сих пор пропадала бесполезно. В Европе особенно много надежд вселяют Альпы с их огромным запасом водяной энергии, часть которой уже применена к делу Францией, Швейцарией и Италией; у нас, в СССР, сооружаются мощные гидроэлектрические установки (Волховстрой!) для использования водяной энергии; грандиозные проекты обещают сделать со временем водяную энергию удобоприменимой для общего пользования.

Что сулит нам дальнейшее применение научных открытий к жизни? Если мысленно представить себе лишь продолжение и усовершенствование уже достигнутого, то уже одни приложения электрической энергии при дружном взаимодействии науки и техники, без сомнения, приведут к чрезвычайному облегчению и ускорению людских сношений на расстояниях, к более совершенному, чем в настоящее время использованию запасов энергии в природе и, следовательно, к повышению производительности человеческого труда, наконец — и что, пожалуй, самое важное — к более равномерному распределению запасов энергии в качестве подспорья личному и общественному труду и для надобностей здорового житейского обихода. Но, конечно, не исключена возможность и совсем новых открытий, которые направят людскую изобретательность по иным, еще неведомым для нас путям [1]...

392. Подчинение внешней природы человеку основано на знании связи и взаимной зависимости явлений. Оно именно позволяет нам, так сказать, владеть ими, направлять их в нашу пользу. При своей физической слабости человек без такого знания («дикарь») не мог бы успешно вести борьбу с мощной энергией природы. Его сила только в знании.

Пользуясь естественными свойствами тел и зная наперед, какие последствия произойдут при взаимодействии тех или других физических факторов, человек лишь ставит тела в надлежащие условия, а затем уже сама природа начинает работать в требуемом направлении. **Побеждать природу можно только, со-**

[1]) Пережитая нами жестокая мировая война, направив великие приобретения науки исключительно по пути разрушения и смерти, способна поколебать веру в благодетельную силу науки. Но автор не может отказаться от уверенности, что настанет время, когда все люди будут с отвращением вспоминать о преступлениях империалистических правительств и буржуазных классов, обращающих во зло даже результаты научных достижений, и тогда вопросы познания — в частности познания природы — приобретут то значение, на которое они имеют вечные права.

блюдая ее законы. Когда затонувшее судно извлекают из воды помощью надуваемых воздухом мешков—заставляют работать ту самую силу тяжести, вследствие которой судно затонуло. А что такое современная динамо-электрическая машина, дающая нам возможность пользоваться энергией водопада для получения света, мало уступающего солнечному? Это сочетание железных масс и медной проволоки; но как много ума и изобретательности нужно было вложить в это сочетание, чтобы с его помощью энергия преобразовывалась в требуемом направлении! Техническое умение — своего рода «хитрость»: умение заставить работать на себя уже готовые запасы энергии, зная лишь, как следует сочетать их. Отсюда—ясно отношение науки к прикладному знанию — технике. Все, чем современная культурная жизнь отличается от первобытной в отношении безопасности и удобства, добыто путем многовекового изучения природы и приложения научных знаний к нуждам повседневной жизни [1]. «Наука дает предвидение, предвидение вызывает действие»—вот краткая формула, точно выражающая зависимость между наукою и прикладным знанием.

393. Физическое исследование—единственное наше средство разбираться (ориентироваться) в подавляющем разнообразии явлений материального мира. На ряду с устремлением к социальному переустройству мира, которое разрабатывается современными общественными науками, физическое исследование берет на себя всю трудность борьбы человека за жизнь; можно надеяться, что оно выручит нас и в том уже не очень далеком будущем, которое роковым образом надвигается вследствие возрастания населения и безвозвратной траты еще остающихся источников энергии, — главным образом, конечно, энергии каменного угля.

[1]) Выражения «хитро» и «хитрая механика» охотно применяются в житейской практике к такому сочетанию предметов, при котором цель очень просто достигается как бы сама собою. Пользуясь ветром, идут на парусах «против ветра». Действием силы тяжести, влекущей тела книзу, поднимают грузы. Когда при посредстве шлюзов переводят тяжелое судно из одного озера в другое с более высоким уровнем воды, пользуются не чем иным, как тою же силою тяжести и т. п. Вот еще один из множества примеров «хитрого» использования обстоятельств для целей передвижения. До применения электрического трамвая для перевозки пассажиров через Неву зимой перевозка одно время производилась с помощью проложенного по льду рельсового пути и двух вышек или гор у берегов. Желающие переехать всходили на вышку, садились в вагончик, и, скатившись с горы, быстро доезжали по рельсам до другого берега. Здесь, в сущности, каждый перевозил себя сам насчет той работы, которую он должен был затратить против тяжести, чтобы взойти на вышку.

В наше время физика перестала быть лишь «наукой», которой занимаются ученые, и «учебным предметом», существующим ради экзамена. Из тесных помещений лаборатории и класса она бесповоротно вышла на широкий простор многообразных человеческих интересов; результаты физических исследований бьют в глаза, дают себя знать и в нашей обыденной жизни, и во всех отраслях научного знания. Без некоторого знакомства с физикой нельзя понимать «великой книги природы», как неграмотному недоступно понимание печатной книги. Нельзя понимать и тех замечательных открытий и изобретений нашего времени, которые не напрасно называются «чудесами науки и техники».

Каких чудес можно еще ожидать от технических приложений физики дальше, трудно даже и гадать. В новейшее время в явлениях радиоактивности и атомного распада обнаружены новые и притом колоссальные запасы энергии. Если будет найден ключ к замку, которым пока еще заперто от нас это сокровище, человеческая жизнь может испытать такое преобразование, перед которым все прошлые познания покажутся игрушкой...

394. Мир не ограничивается только тем, что доступно физическому исследованию. Наша жизнь, с ее неисчислимыми проявлениями, гораздо шире, и, например, на многие вопросы о социальной жизни физика отвечать не берется. Но жизнь такими крепкими нитями связана с физическими условиями, что незнание или несоблюдение законов природы может губительно отозваться на самой жизни. Кроме того, знакомство с явлениями природы, идя навстречу запросам нашей мысли, вносит много живого содержания в наше повседневное существование.

395. Когда вы попадаете в темную комнату с чуждой вам обстановкой, вы пробираетесь ощупью, с большой осторожностью. Точно так же ощупью, исправляя одну ошибку за другой, пробирается естествоиспытатель в неизведанных еще «дебрях» природы. К счастью, он никогда не бывает один: к его услугам книги — неисчерпаемая сокровищница знаний и мыслей, взращенных его предшественниками. Настойчиво работая один за другим, вопреки невзгодам жизни, нередко среди всевозможных лишений, великие испытатели природы, искатели истины, подготовили и расчистили путь потомству.

Недавно умерший московский физик-философ Н. А. Умов[1]) говорит: «Естественное назначение умственной работы — служить цементом, связующим человечество, нигде не осуществляется

[1]) «Эволюция физических наук и ее идейное значение». Речь на общем собрании съезда преподавателей физики, химии и космографии в Ленинграде, 29 декабря 1913 г. («Русская Мысль», 1914 г., № 2 и III том «Собрания сочинений»).

с такой полнотой, как в естествознании. Естествоиспытатель стоит перед лицом строгого и беспристрастного судьи в лице самой природы. В своих экспериментах и измерениях, среди богатой жизни явлений, он проходит великую школу правды в суждении и действии».

Но — добавим — чтобы живо чувствовать эту научную правду и служить ей, чтоб сделать ее достоянием самых широких масс,— необходимо такое социальное переустройство мира, которого физика, при всей ее мощи в других отношениях, сама по себе дать не может.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

(Цифры обозначают страницы.)

Азот 65,400.
Азотная кислота 400.
Аккорд 251.
Аккумулятор 400.
Алмаз 399.
Алюминий 48, 81.
Альфа-лучи 463.
«Американский житель» 119.
Аммиак 68, 400.
Ампер 417.
Анероид 108.
Анод 457.
Ареометр 118.
Артезианский колодец 92.
Астероиды 444.
Астрономическая трубка 314.
Атмосфера 27, 37.
Атмосферный воздух 38, 438.
Атмосферное давление 94, 100.
Атмосферные осадки 193.
Атмосферное электричество 371.
Атом 70, 221, 455.
Атомное ядро 455.
Ацетилен 399.
Аэроплан 149.
Аэростат 122.

Барометр-анероид 108.
Барометр ртутный 106.
Батарея 380.
Безмен 74.
Бертолетова соль 64, 68.
Беспроволочный телеграф 425, 434.
Бета-лучи 463.
Ближняя точка нормального глаза 311.
Близорукость 312.
Блоки 235.
Большая калория 208, 227.
Броуново движение 454.

Вал 234.
Ватерпас 30.
Ватт 244, 421.
Величина атмосферного давления 100.
Вентилятор 149.
Верность весов 80.
Верста 35.
Вертикальное направление 29.
Вес 73.
Вес воздуха 41.
Весы пружинные 74.
» с коромыслом 74.
Вечный двигатель 239.
Вещество 217.
Вещества простые и сложные 218.
Взаимодействие тел 145.
Взвешивание на неверных весах 87.
Вибратор 426.
Виды энергии 226.
Винтовая линия 236.
Винт 236.
Влажность воздуха 194.
Вогнутое зеркало 279.
Водоизмещение судна 117.
Водолазный кожух 38.
» колокол 38.
Водород 63, 123, 220, 453.
Водяной насос 97.
Водяные пары 66, 193.
Водяная турбина 148.
Воздушное огниво 163.
Воздушный звонок 40.
» насос 44, 97.
» пистолет 39.
Волны звуковые 259, 433.
» поперечные 431.
» продольные 431.
» световые 430.
» электро-магнитные 424.

Вольт 418.
Вольтметр 418.
Вольтова дуга 396.
Ворот 234.
Вращение земли вокруг оси 144.
Всеобщее тяготение 451.
Выключатель 395.
Выпуклое зеркало 279.
Высота звука 253.

Газообразные тела 60.
Гальванический элемент 378.
Гальванометр 415.
Гальванопластика 399.
Гальваноскоп 415.
Гамма-лучи 467.
Гелий 453, 463.
Географический меридиан 33, 353.
Главное фокусное расстояние собират. стекла 301.
Главный фокус вогнутого зеркала 282.
» » собират. стекла 301.
Глаз 309.
Глетчер 52.
Горение 48, 62, 65, 217.
Горизонтальное направление 29.
Горный ледник 52.
» хрусталь 50.
Град 196.
Градус 118.
Грамм 73.
Гремучий газ 384.
Гроза 372.
Гром 372.
Громоотвод 372.
Давление атмосферы 94,100.
» жидкости 88,93.
Дальнозоркость 312
Двигатель внутреннего сгорания 243.
Движение 130.
» земли 143.
» колебательное 139.
» молекул 69.
» падающих и брошенных тел 134.
» планет 446.
» по наклонной плоскости 135.
» по параболе 137.

Двояковогнутое стекло 305.
Двояковыпуклое » 300.
Действие магнита на проводник с током 390.
Дестиллированная вода 191.
Дециграмм 72.
Дециметр 35.
Динамомашина 391.
Дирижабль 124.
Диффузия 69,454.
Длина волн 428.
Длина маятника 130.
Добыча металлов электрическим путем 399.
Дождь 195.
Долгота места 33.
Дыхание 221,223.

Единицы веса 72.
» длины, поверхности и объема 57.
» работы 158.
» электрич. величин 417

Железо 24, 48, 81, 82, 168, 176, 184, 346, 348, 354, 380, 404, 410, 418, 453.
Жидкие тела 52.
Жидкий воздух 205.

Зависимость между числ. колеб., длиною волны и скор. распростр. волны 428.
Задачи и цели физики 24, 475.
Закалка 48, 348.
Закон Архимеда 114, 125.
» инерции 132.
» равенства действия и противодействия 153.
» Ома 419.
» сохранения вещества 222.
» сохранения энергии 224.
Законы качаний и маятника 138.
» отражения света 278.
» физики 476.
Закрасные лучи 336.
Закрытый ртутный манометр 109.
Замерзание 186.
Затмения 272.
Зафиолетовые лучи 337.
Звук 249.
Звучащие тела 249.
Звуковые волны 259, 433.
Земной магнетизм 312.
Земной мир 26.
Зеркала плоские 277.
» сферические 279.
Знаки телеграфные 405.
Золотник 240.
Золочение электрическое 329.
Зрение 309.
Зрительная труба 314.